

Universität Zürich
Institut für Rechtsmedizin
Direktor: Prof. Dr. med. Michael Thali

Arbeit unter Leitung von Dr. med. dent. Bernhard Knell

**Zahnärztliche Altersdiagnostik: Untersuchung zur
radiologischen Sichtbarkeit des Parodontalspaltes der ersten
Molaren im Unterkiefer bei 14- bis 22-Jährigen**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin
der medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von
Felix Reutimann

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. Michael Thali
Zürich 2015

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	3
2 Einleitung	4
2.1 Altersdiagnostik (AD)	4
2.1.1 Einführung	4
2.1.2 AGFAD / FOCH	4
2.1.3 Rechtliche Grundlagen	6
2.1.3.1 Strafrecht	6
2.1.3.2 Asylrecht	7
2.1.3.3 Strahlenschutzgesetz	7
2.2 Wissenschaftliche Untersuchungsmethoden	8
2.2.1 Übersicht	8
2.2.1.1 Zahnärztlich-radiologische Untersuchung	8
2.2.1.2 Radiologische Untersuchung der Hand und der Schlüsselbeine	8
2.2.1.3 Erkennung endokriner Erkrankungen	9
2.2.1.5 Der Parodontalspalt	9
2.3 Panoramaschichtverfahren	12
2.3.1 Der Orthopantomograph®	12
2.3.2 Geschichtlicher Abriss	13
2.3.3 Funktionsweise	15
2.3.4 Das Orthopantomogramm	15
2.3.5 Analoge und digitale Orthopantomographen	17
2.3.6 Qualitätsunterschiede analog zu digital	18
2.3.7 Strahlenrisiko und Strahlenbelastung	21
2.4 Strukturbiologie des Parodonts	24
2.4.1 Aufbau und Funktion des Parodonts	24
2.5 Ziel der Arbeit	26
3 Material und Methode	27
3.1 Patientengut	27
3.2 Datenerhebung	28
3.3 Testreihen	30
3.3.1 Bilddarstellung	30
3.3.2 Klassifikation	31
3.3.3 Statistik	32
3.3.4 Ergebnisse der Testreihen	33
3.4 Hauptstudie	34
3.4.1 Statistische Methoden	34

3.4.2	Parodontalspaltstadien der Hauptstudie	34
4	Resultate	39
4.1	Quantitative Auswertung	39
4.1.1	Quantitative Auswertung der Stadieneinteilung Studie	39
4.1.2	Quantitative Auswertung nach Zusammenfassender Stadieneinteilung	41
4.2	Qualitative Auswertung	42
4.2.1	Qualitative Auswertung der Stadieneinteilung Studie	42
4.2.2	Qualitative Auswertung der Zusammenfassenden Stadieneinteilung	47
5	Diskussion	49
5.1	Stichprobengrösse	49
5.2	Altersverteilung	50
5.3	Wahl des radiologischen Verfahrens	50
5.4	Wahl des zu untersuchenden Zahnes	53
5.5	Ethnie der untersuchten Kohorte	55
5.6	Testreihen	55
5.7	Stadieneinteilung des Parodontalspalt	57
5.8	Statistische Methoden	60
5.9	Geschlechterspezifische Unterschiede	61
5.10	Seitenvergleich (Zusammenfassende Stadieneinteilung)	62
6	Schlussfolgerungen	63
7	Literaturverzeichnis	64
8	Anhang	72
8.1	Resultate der 3. und 4. Testreihe	72
8.2	Tabellen und Diagramme zur Studie	74
8.2.1	Quantitative Auswertung	74
8.2.2	Qualitative Auswertung	78
8.2.3	Seitenvergleich von Parodontalspaltklassen von 46 und 36	81
8.2.4	Einfluss von kieferorthopädischen Massnahmen	82
8.3	Gesetzesbestimmungen	84
9	Verdankungen	93
10	Curriculum vitae	94

1 Zusammenfassung

Die forensische Altersdiagnostik (AD) stützt sich in der Regel auf die drei Pfeiler skelettale, anthropometrische und zahnärztliche Untersuchung des Exploranden (Knell 2012 [1]). Olze et al. (2010 [2]) definierten für das zahnärztliche Teilgutachten ein zusätzliches parodontales Beurteilungskriterium. Sie konnten bei unteren Weisheitszähnen (dritte Molaren) auf analog angefertigten Orthopantomogrammen für die Sichtbarkeit des Parodontalspaltes und dem chronologischen Alter forensisch relevante Daten erheben. Das Ziel dieser Arbeit war es, einen Zusammenhang zwischen der Sichtbarkeit des Parodontalspaltes bei den ersten Molaren im Unterkiefer und dem chronologischen Alter nachzuweisen. Die methodischen Grundlagen stützen sich auf die Arbeit von Olze et al. Die von den Autoren vorgeschlagene röntgenologische Stadieneinteilung des Parodontalspaltes bei Weisheitszähnen wurde modifiziert.

Die Sichtbarkeit des Parodontalspaltes der ersten Molaren im Unterkiefer (Zähne 36 & 46)* wurde auf 1'429 digitalen Panoramaröntgenbildern (OPT's) von 14- bis 22-jährigen Individuen untersucht. 53% der am Zahnmedizinischen Zentrum der Universität Zürich erstellten Röntgenaufnahmen aus den Jahren 2004 bis 2012 stammten von weiblichen, 47% von männlichen Patienten. Insgesamt wurden 2'588 erste Molaren des Unterkiefers untersucht und analysiert. Die Resultate wurden mittels deskriptiver Statistiken in Form von absoluten und relativen Häufigkeiten, Mittelwerten und Standardabweichungen sowie mit logistischer Regression berechnet. Ein Literaturvergleich zur Bildqualität von analogen vs. digitalen Orthopantomographen zeigt für diese Art der Untersuchung grundsätzlich Vorteile beim digitalen Verfahren.

Mit zunehmendem Alter nimmt die Sichtbarkeit des Parodontalspaltes im Röntgenbild ab. Die Abgrenzung der in der Schweiz juristisch bedeutsamen Altersgrenzen 15. (Beginn Jugendstrafrecht), 16. (Schutzalter) und/oder 18. Lebensjahr (Beginn Erwachsenenstrafrecht) ist mit Hilfe der Beurteilung des Parodontalspaltes unterer erster Molaren aber nicht mit rechtsgenügender Sicherheit möglich. Die Aussagen von Olze et al. (2010 [2]) müssen deshalb kritisch hinterfragt werden.

Neben der Einteilung der Sichtbarkeit des Parodontalspaltes in einzelne Stadien wurden zusammenfassende Klassen gebildet. Mit dieser gröberen Unterteilung war die Abgrenzung der einzelnen Klassen voneinander klarer, als zwischen einzelnen Stadien.

Eine Übereinstimmung der Klassen zwischen linken und rechten ersten Molaren des Unterkiefers fand sich in knapp 70% der Fälle. In 20% der Fälle wies Zahn 46 eine höhere Klasse als Zahn 36 auf.

*Zahn 46 bezeichnet den ersten Molar im Unterkiefer rechts, Zahn 36 denjenigen im Unterkiefer links

Kieferorthopädische Behandlungen konnten in 41% der untersuchten Fälle im Röntgenbild nachgewiesen werden. Der Einfluss zahnärztlich-orthodontischer Behandlungen auf die radiologische Sichtbarkeit des Parodontalspaltes war gering.

2 Einleitung

2.1 Altersdiagnostik (AD)

2.1.1 Einführung

Die forensische Altersdiagnostik (AD) ist wie die zahnärztliche Identifikation oder die Bissspuranalyse Teil der forensischen Zahnmedizin und kommt bei Lebenden, seltener bei Verstorbenen zum Einsatz. Die Altersdiagnostik wird in der forensischen Anthropologie (Verhoff et al. 2006 [3]) oder bei Massenkatastrophen bei der Identifizierung von Kindern & Jugendlichen eingesetzt (INTERPOL 2006 [4]). Bei Lebenden werden Altersschätzungen hauptsächlich im Asyl- oder Strafverfahren durchgeführt. In der Schweiz ist neben dem 15. (Beginn Jugendstrafrecht) und 16. (Schutzalter) vor allem die Abklärung des vollendeten 18. Lebensjahres von zentraler Bedeutung, da es die Grenze vom Jugendstrafrecht zu Erwachsenenstrafrecht darstellt (JStG 2011 [5]). Forensische AD-Untersuchungen im Rahmen von Asyl- und Strafverfahren werden am Institut für Rechtsmedizin der Universität Zürich durchgeführt (IRMZ), die zahnärztliche-radiologische Auswertung bis 2015 durch einen in der Altersdiagnostik erfahrenen Privatpraktiker. Zahnstatus, Zahnentwicklung, Zahndurchbruch und Mineralisationsgrad (Demirjian et al. 1973 [6], Mincer 1993 [7], Gunst 2003 [8], Olze et al. 2004 [9], Schmeling 2011 [10]) gehören zu den wichtigsten Beurteilungskriterien.

Bei der Frage nach dem 18. Altersjahr stützt sich die zahnärztlich-forensische AD vor allem auf die radiologisch zu beurteilende Mineralisation und (weniger zuverlässig) den Durchbruch der Weisheitszähne ab. Für Aussagen über ein Mindestalter 18 Jahre muss das Wurzelwachstum mindestens eines Weisheitszahnes zwingend abgeschlossen sein. Ungenaue Beurteilungskriterien sind die Attrition von Zähnen, der DMFT-Index und parodontaler Knochenverlust. (Knell 2013 [11])

2.1.2 AGFAD / FOCH

AGFAD

Unter dem Eindruck der zunehmenden Migrationsbewegungen in Europa und dem Anstieg von Ausländern in europäischen Ländern mit nicht zweifelsfrei dokumentierten Geburtsdaten, fand 1999 das „X. Lübecker Gespräch deutscher Rechtsmediziner“ statt. Gutachten zur forensischen Altersdiagnostik (AD) in verschiedenen deutschsprachigen Ländern wurden analysiert, die zum Teil recht unterschiedliche Vorgehensweisen zeigten und eine Harmonisierung nahelegten. Es wurde beschlossen, eine Arbeitsgemeinschaft aus Rechtsmedizinern, Anthropologen, Radiologen und Zahnmedizinern zu gründen, die Arbeitsgemeinschaft für forensische Altersdiagnostik (AGFAD), mit dem Ziel Leitlinien für die Gutachtererstattung zu entwickeln und eine Qualitätssicherung der Gutachten zu erreichen. Die konstituierende Sitzung in Anwesenheit des seinerzeitigen Präsidenten

der FOCH (Forensische Odontologen der Schweiz) fand am 10. März 2000 in Berlin statt (AGFAD [12]).

Die AGFAD führt jährlich Tagungen durch, mit regelmässigen Beiträgen von schweizerischen Referenten und zählt in der Zwischenzeit über 120 Mitglieder aus 16 Ländern (Stand 2010, Geserick et al. [13]). Internationale Beachtung fanden die Empfehlungen der AGFAD zur Altersdiagnostik (AD) bei Lebenden im Strafverfahren. Weitere Empfehlungen (der Begriff Leitlinien wurde aus juristischen Gründen verlassen) betrafen AD bei Lebenden im Rentenverfahren, bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen ausserhalb des Strafverfahrens und forensische Geschlechts- und Altersdiagnose am Skelett. Mit Ausnahme der Empfehlungen AD bei Lebenden im Strafverfahren sind keine Autoren aus der Schweiz an diesen Arbeiten beteiligt und sie können wegen der unterschiedlichen Rechtslage deshalb nicht generell übernommen werden.

Im Jahr 2000 fand in Zusammenarbeit mit dem Arbeitskreis für Forensische Odonto-Stomatologie (AKFOS) eine Gutachtertagung statt und seit über 10 Jahren organisiert die AGFAD Ringversuche zur Qualitätssicherung forensischer AD-Gutachten. Mit Ausnahme des IRM Bern (das seit Jahren keine AD-Gutachten mehr erstellt) nehmen alle Rechtsmedizinischen Institute der Schweiz seit Jahren regelmässig an den Ringversuchen teil.

FOCH

In der FOCH (Forensische Odontologen der Schweiz) waren die konsiliarisch an den Rechtsmedizinischen Instituten der Schweiz forensisch tätigen Zahnärzte seit 1997 zusammengeschlossen (Auflösung der FOCH im März 2015). Sie kamen bei zahnärztlichen Identifikationen von Einzelpersonen oder bei Katastropheneinsätzen zum Einsatz. Mitglieder der FOCH wurden bei Flugzeugunglücken (Crash Alitalia Zürich 1990 / Crash Crossair Zürich 2000/2001 (Abb.1)), Massakern (Sonnentempel 1994 Cheiry (Freiburg) und Granges-sur-Salvan (Wallis), Luxor 1997) und Naturkatastrophen (Canyoning Interlaken 1999, Tsunami 2004) eingesetzt. Weitere wichtige Tätigkeitsfelder der FOCH waren die zahnärztlich-forensische Beurteilung von Bissspuren (Knell 2013 [14]) und die forensische Altersdiagnostik. In Übereinstimmung mit den Empfehlungen der AGFAD wurden bis 2014 Altersschätzungen durch einen Radiologen, einen Rechtsmediziner und einem forensisch tätigen Odontologen dreistufig durchgeführt (Knell 2009 [15]). Zusammengefasst bestanden diese aus einer Erhebung des Zahnstatus und einer radiologischen Untersuchung des Gebisses, einer körperlichen Inspektion mit Erfassung anthropometrischer Masse und sexueller Reifezeichen (unter anderem auch zum Erkennen von möglichen Entwicklungsstörungen) sowie einer skelettalen Untersuchung (Handröntgenbild der linken Hand) (Schmeling et al. 2008 [16]). Die FOCH erarbeitete 2003 ein Manual zur zahnärztlichen Altersdiagnostik um die Gutachten in der Schweiz zu harmonisieren und eine Qualitätssicherung zu erreichen. Regelmässig erschienen zu diesem Thema eigene wissenschaftliche Arbeiten und Publikationen (Ruhstaller 2006 [17], Dietsch 2009 [18], Knell 2009 [19], Knell 2010 [20], Hofstetter in Vorbereitung).



Abb.1: Crossair-Absturz in Zürich (Bieri W., mit freundlicher Genehmigung Keystone 2001 [21]).

2.1.3 Rechtliche Grundlagen

2.1.3.1 Strafrecht

In der Schweiz wird zwischen dem **Erwachsenen-** und dem **Jugendstrafrecht** unterschieden. Das Jugendstrafrecht regelt die Sanktionen, welche gegenüber Personen zur Anwendung kommen, die vor Vollendung des 18. Altersjahres eine nach dem Strafgesetzbuch (StGB) oder einem anderen Bundesgesetz mit Strafe bedrohte Tat begangen haben und ist im Bundesgesetz über das Jugendstrafrecht (Jugendstrafgesetz, JStG [5]) geregelt. Bei Kindern und Jugendlichen besteht eine Altersabstufung der Mündigkeit bzw. der Strafmündigkeit. Bis zum **Alter von 10 Jahren** sind Kinder strafunmündig (Art. 3 und Art. 4 JStG). Des Weiteren bestehen unterschiedliche Schutzmassnahmen und Strafen für **10 bis 15-Jährige** (Art. 23 Abs. 3, 5 und 6, Art. 24 Abs. 1, Art. 25 Abs. 1 und Art. 47 JStG) und **15 bis 18-Jährige** (Art. 16, 23, 25 JStG; siehe auch Kap. 8.3 *Gesetzesbestimmungen*). Bei den 16 bis 18-Jährigen können zudem bei Verüben von schweren Delikten härtere Strafen ausgesprochen werden als bei 15-Jährigen. Ab 15 Jahren kommen Freiheitsentzug und Geldbussen bis CHF 2000 zur Anwendung. Ab 16 Jahren werden bei schweren Vergehen, bei welchen eine skrupellose und besonders verwerfliche Gesinnung des Täters offenbart wird, bis zu 4 Jahre Freiheitsentzug ausgesprochen. Dies gilt auch, wenn ein Verbrechen begangen worden ist, welches im Erwachsenenstrafrecht mit einer Freiheitsstrafe nicht unter 3 Jahren belegt wird. Je nach persönlicher Entwicklung und Altersstufe des Täters wird der Vollzug angepasst durchgeführt. Das Jugendstrafrecht endet mit dem Erreichen des 18. Lebensjahres (Art. 1, Ziff. 1a JStG)

2.1.3.2 Asylrecht

Das Bundesamt für Migration (BFM) ist in der Schweiz für alle ausländer- und asylrechtlichen Fragen zuständig wie Einreise und Aufenthalt, Arbeit, Schutz vor Verfolgung, Integration, Einbürgerung, Auswanderung und Rückkehr ins Ausland (BFM 2008 [22]). Die rechtlichen Grundlagen sind im **Asylgesetz** (AsylG [23]) geregelt und werden durch die bundesrätliche **Asylverordnung** (AsylV [24]) konkretisiert.

Für minderjährige Asylsuchende, welche sich ohne Begleitung in der Schweiz aufhalten, gelten spezielle Regelungen (Art. 17 AsylG [23], Art. 7 AsylV [24]). Neben Untersuchungen zum Alter (wenn Zweifel an der Altersangabe bestehen) werden auch Abklärungen zur Selbstständigkeit des Asylsuchenden sowie der sozialen und wirtschaftlichen Verhältnissen im Ursprungsland getroffen. Im Weiteren wird die Integrationsfähigkeit in der Schweiz aber auch die Wiederintegrationsfähigkeit im Ursprungsland abgeklärt (Ruhstaller 2006 [17]).

Gestützt auf die Ausführungsbestimmungen (Art. 119 AsylG [23]) erliess der Bundesrat die Asylverordnung, in welcher sich auch die gesetzlichen Rahmenbedingungen für wissenschaftliche Untersuchungen zur Altersschätzung finden. Die Asylverordnung erlaubt wissenschaftlich etablierte Verfahren zur Altersschätzung (Art. 7 Abs. 1 AsylV [24]). Zudem besteht auf Seiten des Asylbewerbers eine gesetzlich geregelte Pflicht zur Mitwirkung (Art. 8 und Art. 26 AsylG [23]). Wenn sich der Asylbewerber forensischen Untersuchungen verweigert (schuldhafte Verletzung der Mitwirkungspflicht), kann dies dazu führen, dass auf das Asylgesuch gar nicht eingetreten wird (Art. 32 AsylG [23]).

2.1.3.3 Strahlenschutzgesetz

Die rechtlichen Grundlagen zum Strahlenschutz sind in der Schweiz im **Strahlenschutzgesetz StSG** [25] und der dazugehörigen **Strahlenschutzverordnung StSV** [26] geregelt.

Das Strahlenschutzgesetz zielt darauf ab, Menschen und Umwelt vor ionisierenden Strahlen zu schützen (Art. 1 StSG [25]). Die Exposition mit medizinischer Strahlung muss nach schweizerischem Recht indiziert und begründbar sein (Art. 8 StSG [25]). Das ungerechtfertigte Bestrahlen einer Person wird mit einer Geldstrafe oder bis zu 3 Jahren Haft geahndet (Art 43 StSG [25]).

In der Schweiz liegt die gesetzlich festgelegte maximale Strahlungsdosis pro Jahr bei 1 Millisievert (mSv) bzw. 1'000 Mikrosievert (µSv) (Art. 28 StSV [26]), wobei sich dieser Wert nur auf die künstlich erzeugte Exposition bezieht. Für beruflich strahlungsexponierte Personen gilt ein Jahreslimit von 20mSv bzw. im Ausnahmefall 50mSv (Art. 35 StSV [26]), wobei medizinische Anwendungen (z.B. radiologische Untersuchungen oder Strahlentherapie) nicht berücksichtigt sind. Der Einsatz von Röntgenstrahlung ist vom Gesetzgeber bei gegebener Indikation grundsätzlich erlaubt, aber die Dosis muss so niedrig wie möglich gehalten werden (Art. 8 und Art. 9 StSG [25]). Die Überwachung und

Kontrolle der Anwendung von ionisierender Strahlung und der Strahlungsbelastung übernimmt in der Schweiz das Bundesamt für Gesundheit (BAG 2007 [27]).

In Kap. 8.3 *Gesetzesbestimmungen* (S. 84) sind die im Text erwähnten, sowie weitere gesetzliche Bestimmungen im Zusammenhang mit dem Straf- und Asylrecht sowie des Strahlenschutzes zusammengestellt.

2.2 Wissenschaftliche Untersuchungsmethoden

2.2.1 Übersicht

In der forensischen Altersdiagnostik (AD) werden bei Lebenden oder seltener Verstorbenen unterschiedliche Untersuchungsmethoden angewandt. Je nach Fragestellung werden anthropometrische, radiologische und/oder zahnmedizinische Methoden eingesetzt (Röttscher 2000 [28]). Jede dieser Untersuchungsmethoden soll von forensisch erfahrenen Rechtsmedizinern, Anthropologen, Radiologen und Zahnärzten vorgenommen werden.

2.2.1.1 Zahnärztlich-radiologische Untersuchung

In der forensischen Altersdiagnostik können zahnärztlich folgende Kriterien beurteilt werden: Erhebung des Zahnstatus durch orale Inspektion, Entwicklungsstand der ersten und zweiten Dentition bzw. Zahnmineralisation und Zahndurchbruch (Demirjian et al. 1973 [6], Mincer 1993 [7], Gunst 2003 [8]) sowie der DMFT-Index* (Olze et al. 2004 [29]). Die Beurteilung des juristisch relevanten 18. Lebensjahres wird in erster Linie auf Grund der Mineralisation und (weniger zuverlässig) dem Durchbruch von dritten Molaren in die Mundhöhle durchgeführt (Knell 2012 [1]).

*DMFT-Index: Summe von kariösen, fehlenden oder gefüllten Zähnen pro Anzahl untersuchter Gebisse (Roulet et al. 2003 [30])

2.2.1.2 Radiologische Untersuchung der Hand und der Schlüsselbeine

Bei der radiologischen Untersuchung der linken Hand werden Ossifikationsstadien anhand epiphysialer Strukturen an Radius und proximaler Phalangen untersucht. Der Stand der Verknöcherung des epiphysialen Knorpels bzw. der Epiphysenfuge gibt Auskunft über das Entwicklungsstadium. Das Röntgenbild wird mit den Epiphysen von Referenzaufnahmen verglichen, welche zum Beispiel im in der Schweiz vorzugsweise verwendeten Atlas von Greulich und Pyle pro Geschlecht und Alter katalogisiert sind (1959 [31]).

Bei abgeschlossener Handskelettentwicklung werden in ausgewählten Fällen zusätzlich Röntgenbilder zur Untersuchung der brustbeinnahen Klavikularepiphysen empfohlen. Zur Diagnose des Ossifikationsgrades werden im konventionellen Röntgen die 5 Stadien nach Schmeling et al.

verwendet (2004 [32]). Die Untersuchung der Schlüsselbeine ist heute auch computertomographisch möglich (Kellinghaus et al. 2004 [33]). Bei vollständiger Verknöcherung bzw. Verschluss der Epiphysenfuge sind Frauen sehr wahrscheinlich älter als 20, Männer älter als 21 Jahre alt (Kreitner et al. 1998 [34], Schmeling et al. 2001 [35]).

2.2.1.3 Erkennung endokriner Erkrankungen

In AD-Untersuchungen der vergangenen, mehr als 15 Jahren wich in Einzelfällen das skelettale vom dentalen Alter ab (Kneel 2015 [36]). Der Grund kann in einer endokrinen Störung begründet sein, da die Entwicklung der Dentition von endokrinen Störungen weniger beeinflusst wird als die skelettale Entwicklung (Schmeling 2011 [37]). Eine Entwicklungsstörung, die das Resultat der Altersschätzung beeinflussen kann, muss von den Rechtsmedizinern erkannt werden. Entwicklungshemmende Erkrankungen, welche zu einer Unterschätzung des Alters führen (z.B. Klinefelter-Syndrom oder Hypogonadismus (klinefelter.ch [38], wikipedia.org [39] [40]), sind bei der Frage nach dem 18. Altersjahr strafrechtlich weniger schwerwiegend als solche, die zu einer Überschätzung führen. Eine endokrin bedingte beschleunigte Skelettreifung findet man bei pubertas praecox, Hyperthyreose und dem androgenitalen Syndrom. Eine beschleunigte Entwicklung liegt auch bei Gigantismus, Akromegalie und Minderwuchs, Virilismus, Struma oder Exophthalmus vor. (Schmeling 2011 [37])

2.2.1.5 Der Parodontalspalt

Das Parodont erfährt altersbedingte Veränderungen in Struktur und Aufbau. Gründe sind physiologische okklusale Belastung, Mesialdrift der Zähne, abnehmende Vaskularisation, Abnahme der Zelldichte und mitotische Aktivität. Mit steigendem Alter werden eine zunehmende Zementapposition von apikal, aber auch Wurzelresorptionen gefunden (Gustafson (1955 [41], Ketterl 1983 [42], Zuhrt 1991 [43]). Nachstehend wird auf Studien eingegangen, die die altersbedingten Veränderungen des Parodontalspalt im Rahmen der AD untersuchten.

Gustafson (1955 [41]) zeigte auf Dünnschliffen extrahierter Zähne die Korrelation von Zementapposition und der sekundären Dentinbildung, der Attrition, der parodontalen Rezession und der apikalen Transluzenz sowie von externen Wurzelresorptionen zum chronologischen Alter. Den altersbedingten Veränderungen wurden definierte Punktzahlen zugeordnet und daraus eine Gesamtpunktzahl ermittelt. Diese wird mit einer Regressionsgeraden verglichen, die auf Zähnen bekannten Alters beruht. Gustafson erhielt einen Standardschätzungsfehler von +/- 3,6 Jahren, den er später nach oben korrigierte (Gustafson 1962 [44]).

Die Anwendbarkeit der Kriterien von 5 der 6 Einzelmerkmale von Gustafson (ohne Wurzeltransparenz) wurde von **Matsikidis** an Zahnfilmen untersucht (1981 [45]). Auch hier wurde aus den einzelnen

Parametern eine Gesamtpunktzahl errechnet und mit Werten verglichen, die bei Zähnen bekannten Alters erhoben wurden. Nach einer Vorstudie wurden insgesamt 100 Röntgenstaten (1'415 ein- und mehrwurzelige Zähne) analysiert. Die durchschnittliche Abweichung von geschätztem zu chronologischem Alter betrug ± 3.5 Jahre, in Einzelfällen aber bis ± 9 Jahren, wobei die oberen Molaren am schlechtesten korrelierten.

Olze et al. (2012 [46]) untersuchten die Methode von Gustafson (modifiziert, ohne Wurzeltransparenz und Wurzelresorption) anhand von 1'299 OPT's. Ziel der Studie war abzuklären, ob sich die radiologische Darstellung von Prämolaren in OPT's für eine modifizierte Methode nach Gustafson für die Altersdiagnostik eignet. Für die im OPT sichtbare Zementapposition wurden von Olze et al. folgende 3 Stadien definiert (Tabelle 1):

Stadien der Zementapposition	
Stadium 0	Keine sichtbare Zementapposition
Stadium 1	Beginnende apikale Zementapposition
Stadium 2	Klar sichtbare Zementapposition, deutlich über den Apex hinaus

Tabelle 1: Daten aus Olze et al. (2012 [46])

Aufgrund qualitativ ungenügender Abbildung der Prämolaren in den Orthopantomogrammen konnten nur 45 - 60% aller Fälle zur Auswertung hinzugezogen werden. Es wurde eine Gesamtpunktzahl mit einem Korrelations-Koeffizienten zwischen $R=0.65$ und $R=0.73$ und einer Standardabweichung von ± 5.3 bis 5.7 Jahren errechnet. Die Anwendung der modifizierten Methode nach Gustafson wird nur bei qualitativ guten OPT's als mögliches weiteres Hilfsmittel zur Altersdiagnostik empfohlen.

In einer Dissertation untersuchte **Kupfer** unter der Leitung von Olze auf Orthopantomogrammen (Panoramaaufnahmen der Kiefer) die altersabhängigen Veränderungen der Pulpa (Zahnmark) und des Parodontalspaltes bei Weisheitszähnen des Unterkiefers (Olze et al. 2010 [47] [2], Kupfer 2011 [48]). 1'198 Panoramaaufnahmen von 629 weiblichen und 569 männlichen deutschen Individuen wurden untersucht, die im Alter zwischen 15 bis 40 Jahren standen und deren Röntgenbilder aus den Jahren 1987 bis 2008 stammten. Die Fallzahl pro Altersgruppe betrug bei den Frauen 15 bis 29 Röntgenaufnahmen, 9 bis 27 bei den Männern. Besonderes Augenmerk wurde auf die in Deutschland juristisch relevanten Alter 18 und 21 Jahre gelegt. Kupfer stellte fest, dass der Parodontalspalt von dritten unteren Molaren ab dem Alter von ca. 20 Jahren radiologisch nicht mehr vollständig sichtbar ist bzw. verschwindet. Die radiologische Sichtbarkeit des Parodontalspaltes von vollständig mineralisierten dritten Molaren wurde in 4 Stadien unterteilt (siehe auf folgender Seite 11 Abb. 2, Tabelle 2).

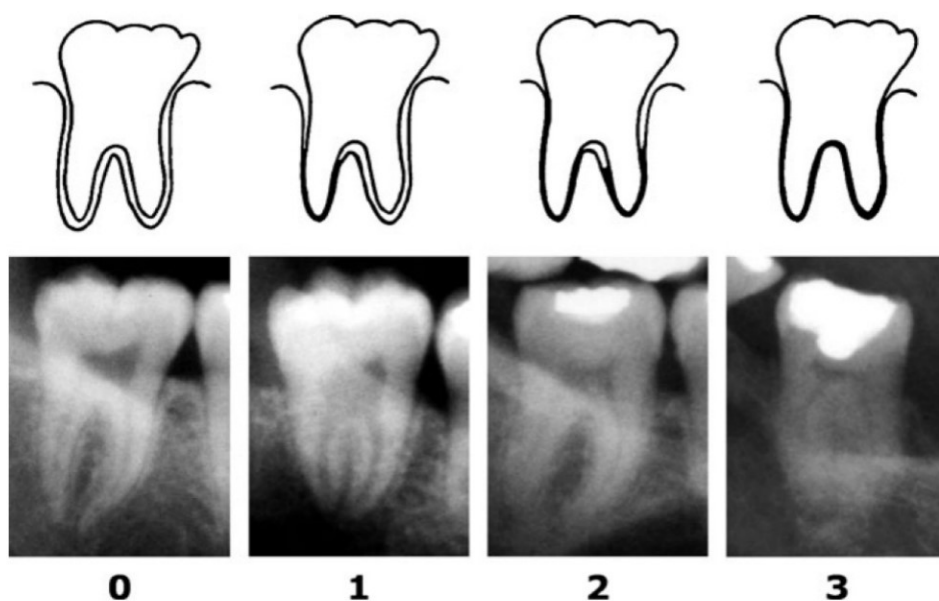


Abb.2 Klassifikation nach Olze et al. (mit freundlicher Genehmigung, 2010 [2])

Stadien des Parodontalspalt nach Kupfer	
Stadium 0:	Parodontalspalt bei beiden Wurzeln in voller Länge sichtbar
Stadium 1:	Parodontalspalt bei einer Wurzel zu mehr als der Hälfte nicht mehr sichtbar
Stadium 2:	Parodontalspalt bei einer Wurzel in voller Länge oder bei Teilen beider Wurzeln nicht mehr sichtbar
Stadium 3:	Parodontalspalt bei beiden Wurzeln nicht mehr sichtbar
Bei Vorhandensein von nur einer Wurzel, kann nur zwischen Stadien 0, 1 und 2 eingeteilt werden.	

Tabelle 2: Daten aus Kupfer (2011 [48])

Die Tabellen 3 und 4 zeigen deskriptiv die Resultate der Studie unterteilt nach Geschlecht.

Alter in Jahren gegenüber Stadien des Parodontalspalt bei Männern

Zahn	Stadium	Anzahl (n)	Minimum	Maximum	UQ	Median	OQ	MW	SA
38	0	40	17.6	24.0	20.5	21.3	22.2	21.3	1.3
	1	30	20.1	26.4	21.0	22.4	23.6	22.4	1.5
	2	253	22.3	40.6	27.3	31.3	34.8	31.3	4.7
	3	64	26.2	40.5	30.0	33.8	36.9	33.7	4.0
48	0	44	17.6	30.3	20.5	21.4	22.4	21.5	1.9
	1	25	20.2	24.5	20.8	22.2	23.6	22.2	1.4
	2	259	22.3	40.5	27.1	30.7	34.7	31.1	4.8
	3	81	25.4	40.6	30.3	34.5	37.8	34.2	4.3

Tabelle 3: Daten aus Olze et al. (2010 [2])

Legende: UQ= Unteres Quartil, OQ= Oberes Quartil, MW= Mittelwert, SA= Standardabweichung

Alter in Jahren gegenüber Stadien des Parodontalspaltes bei Frauen

Zahn	Stadium	Anzahl (n)	Minimum	Maximum	UQ	Median	OQ	MW	SA
38	0	33	17.2	25.2	19.8	20.8	22.5	21.1	1.9
	1	37	20.0	28.8	21.9	22.5	23.7	22.9	1.9
	2	273	23.1	40.5	27.3	31.3	35.3	31.4	4.8
	3	60	25.2	40.9	33.0	37.0	39.0	35.7	4.0
48	0	39	17.2	24.5	20.2	21.7	23.1	21.5	1.9
	1	34	18.9	30.0	21.9	23.0	25.0	23.5	2.3
	2	298	22.5	40.6	27.6	31.3	35.3	31.6	4.7
	3	55	24.6	40.9	33.7	36.2	38.3	35.4	4.0

Tabelle 4: Daten aus Olze et al. (2010 [2])

Legende: UQ= Unteres Quartil, OQ= Oberes Quartil, MW= Mittelwert, SA= Standardabweichung

Stadium 0 wurde bei Männern ab 17.6 Jahren gefunden, bei Frauen ab 17.2 Jahren. **Stadium 1** bei Männern ab 20.1 (links) und 20.2 (rechts) Jahren, bei Frauen ab 18.9 (rechts) und 20 (links) Jahren. **Stadium 2** bei Männern ab 22.3 Jahren, bei Frauen ab 22.5 (rechts) und 23.1 (links) Jahren. **Stadium 3** bei Männern ab 26.2 Jahren, bei Frauen ab 24.6 (rechts) und 25.2 (links) Jahren.

Gestützt auf diese Daten postulierten Olze et al. ein Minimalalter von 18 Jahren ab Stadium 1 respektive 21 Jahren für die Stadien 2 und 3.

De Angelis et al. (2014 [49]) überprüften die von Olze et al. (2010 [2]) vorgeschlagene Methode mit Fokus auf die Zwischenbeobachter-Übereinstimmung. 3 Untersucher untersuchten die unteren Weisheitszähne auf 61 OPT's von 33 männlichen und 28 weiblichen Individuen. Die Zwischenbeobachter-Abweichungen betrugen bis zu 57%. Es wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass in der Altersdiagnostik nur geübte Untersucher die Methode nach Olze et al. anwenden sollten.

2.3 Panoramaschichtverfahren

2.3.1 Der Orthopantomograph®

Das OPT-Gerät (Orthopantomograph® (Abb.3)) ist ein Röntgenapparat, der eine Panoramaaufnahme des Ober- und Unterkiefers und der angrenzenden Strukturen liefert. Man erhält eine Übersichtsaufnahme, ein Orthopantomogramm (OPT), welches auch als Panoramaschichtaufnahme (PSA) bezeichnet wird (Pasler 2003 [50]). Ein OPT wird in vielen Fachgebieten der Medizin oder Zahnmedizin eingesetzt unter anderem zur Diagnose oder Planung einer Therapie. Als Beispiele können die Kieferorthopädie, Kieferchirurgie, Implantologie, Rhinopathologie und die forensische Odontologie genannt werden.



Abb.3 Modernes digitales OPT-Gerät, rechts mit Option für Cephalometrie (mit freundlicher Genehmigung, Kavo Dental® Pan eXam Plus, 2012 [51])

2.3.2 Geschichtlicher Abriss

Nach der Entdeckung der X-Strahlen durch **Wilhelm-Konrad Röntgen** im Jahre 1895 [52] wurde die Entwicklung der Röntgentechnik zur Anwendung in der Medizin und Zahnmedizin vorangetrieben. Bereits 1896 setzte **Walkhoff** (1928 [53]) erstmals Röntgenstrahlen in der Zahnmedizin zur Aufnahme von Backenzähnen ein (zit. in Teiser 2009 [54]).

Neben Fortschritten in der radiologischen Aufnahmetechnik von Gebisspartien und der eigentlichen Entwicklung und Patentierung der Tomographie und Schichtaufnahme 1921 durch **Bocage** (1922 [55]), untersuchte **Numata** (1934 [56]) eine Technik zur Panoramaaufnahme (zit. in Van Tiggelen 2002 [57], zit. in Teiser 2009 [54]). Er entwickelte im Jahre 1934 als Erster (Bailoor et al. 2005 [58]) eine Technik, bei der Ober- und Unterkiefer bzw. die gesamte Dentition durch einen intraoral gebogenen Film radiologisch aufgezeichnet werden konnte, indem die Röntgenquelle um den Kopf herum lief (zit. in Sömmer 2008 [59]).

Ende der dreissiger Jahre stellte **Heckmann** (1939 [60]) eine neue Röntgentechnik vor. Der Röntgenfilm wurde nicht mehr intraoral platziert, sondern befand sich ebenfalls wie die Röntgenquelle extraoral und wanderte um den Kopf herum. Diese Methode nannte sich Pantomographie. Eine funktionsfähige und anwendbare Apparatur konnte jedoch noch nicht entwickelt werden (zit. in Sömmer 2008 [59]).

Die Panoramaaufnahmetechnik wurde von **Paatero** (1949 [61]) Ende Vierziger- bzw. Anfang der Fünfzigerjahre basierend auf der konventionellen Tomographie entwickelt und in Finnland vorgestellt (zit. in Sömmer 2008 [59]). 1946 arbeitete Paatero an einer Methode ähnlich der von Numata und nannte es Parabolographie (Bailoor et al. 2005 [58]). Vor einer stationären Röntgenröhre mit schlitzförmigem Austrittspunkt drehte sich der Patientenstuhl um seine eigene Achse. Zuerst wurden

die Aufnahmen anhand von gebogenen und intraoral platzierten Röntgenfilmen erstellt. Jeweils wurde pro Kiefer ein separater Röntgenfilm verwendet. Paatero entwickelte die Methode weiter, so dass der Film (Filmkassette) extraoral zu liegen kam und sich zusammen mit dem Patient um eine Achse drehte. Die Röntgenquelle war dabei immer noch stationär. Die Aufnahmen wiesen jedoch noch Defizite bezüglich Abbildungsschärfe auf und zeigten Überlagerungen von Zähnen (zit. in Sömmer 2008 [59]).

1950 verbesserten Paatero et al. die Aufnahmetechnik indem sie statt nur einem zwei exzentrische Rotationszentren für die linke und rechte Kieferhälfte verwendeten. Mit 2 Rotationszentren konnte der Aufnahmefokus nun eher an die Form des Zahnbogens angepasst werden. Die Abbildungsschärfe wurde verbessert (Film näher am Kiefer) und Überlagerungen wurden reduziert. Bei dieser Apparatur wurde nicht nur der Film, sondern auch die Röntgenquelle um den Patienten herumgefahren (zit. in Sömmer 2008 [59]).

1954 kollaborierte **Blackman** aus England mit Paatero und entwickelte den kommerziell verwendbaren Rotograph (Bailoor et al. 2005 [58]). Paatero arbeitete weiter an dieser Röntgentechnik und entwickelte eine Methode mit 3 Rotationszentren. Es soll ein möglichst senkrechter Strahlengang zur Zahnoberfläche erreicht werden. Zwischen 1957 und 1958 wurde der Begriff der Orthopantomographie eingeführt (zit. in Sömmer 2008 [59]).

In den folgenden Jahren wurde die Orthopantomographie weiter entwickelt. Die Entwicklung gleitender Rotationszentren verbesserte die Abbildungsschärfe (Sömmer 2008 [59]). 1979 erschien der Orthopantomograph® 5 (Siemens®), 1984 der Orthopantomograph® 10 (Siemens®) und weitere Produkte (Abb.4). Heute sind die Systeme sehr ausgereift und von verschiedenen Herstellern wie Sirona®, Gendex®, Instrumentarium Dental®, Kavo®, Kodak® etc. erhältlich.

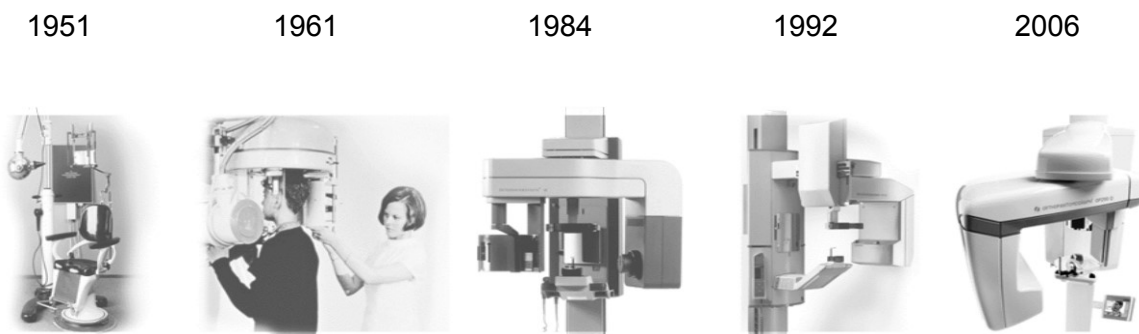


Abb.4 Verschiedene Orthopantomographen (mit freundlicher Genehmigung, Instrumentarium Dental® 2010 [62])

2.3.3 Funktionsweise

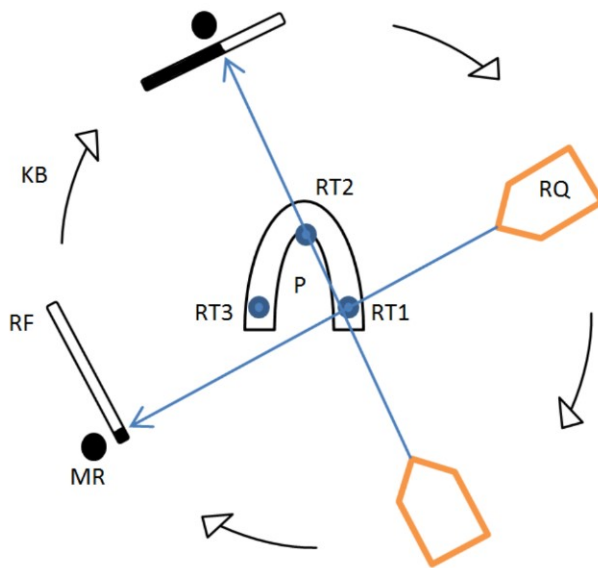


Abb.5 Schematischer Ablauf bei Aufnahme eines konventionellen OPT's

Abb.5: Der Patient (**P**) sitzt oder steht in der Mitte. Die Röntgenquelle (**RQ**) sitzt in einem Gehäuse, welches am Austrittspunkt eine Schlitzblende für eine fächerförmige Strahlenausendung (fokusnahe primäre Schlitzblende) besitzt. Das Gehäuse fährt um den Patienten herum, wobei sich das Rotationszentrum (**RT**) ändert. Der Röntgenstrahl wird in einer ellipsoiden Bahn von RT1 zu RT2 nach RT3 geführt (Pasler 2003 [50]). Durch diese sich ständig verändernden Zentren, wird eine orthogonale Strahlenprojektion auf den Kiefer und den andersseitigen Röntgenfilm (**RF**) bzw. Aufzeichnungseinheit ermöglicht. Diese Vorgehensweise mit gleitenden Rotationszentren orientiert sich an der kurvenartigen Form des Gebisses und Kiefer. Synchron fährt auf der Gegenseite die Aufzeichnungseinheit (z.B. analog mit Röntgenfilmkassette, indirekt-digital mit Speicherplatte oder direkt-digital mit CCD-Sensor) in einer Kreisbahn (**KB**) um den Patienten und bei analog und indirekt-digital ebenfalls über die eigene Achse (**MR**). Vor dem Film befindet sich eine Bleiplatte mit schlitzförmiger Öffnung (empfängerseitige sekundäre Schlitzblende). Die Schlitzblenden haben die Funktion, dass Abschnitt für Abschnitt streifenartig registriert und eine bessere Bildqualität erzielt wird. (Sömmer 2008 [59], Teiser 2009 [54], Pasler 2003 [50])

2.3.4 Das Orthopantomogramm

Zur Veranschaulichung werden 2 beschriftete Beispiele von digitalen Orthopantomogrammen gezeigt (siehe folgende Seite 16 Abb. 6 und 7, Tabelle 5).

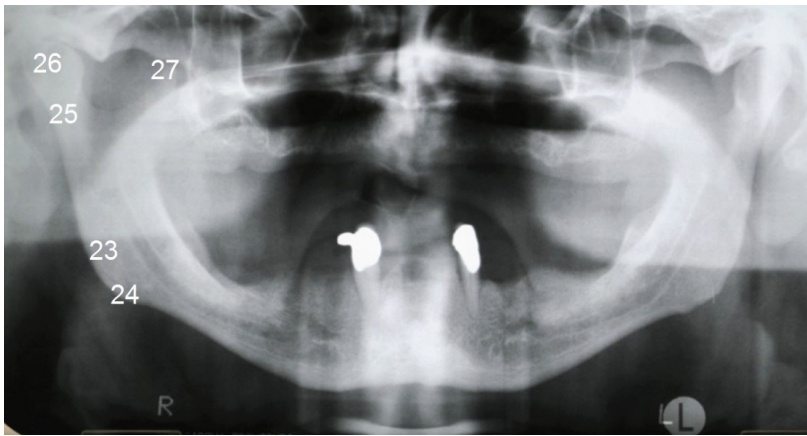


Abb. 6 und 7: Digitale OPT's beschriftet und in Helligkeit und Kontrast optimiert (mit freundlicher Genehmigung, A. Alter ZMZ UZH 2009 [63])

1	Orbita	15	Arcus zygomaticus
2	Articulatio atlantooccipitalis	16	Canalis mandibulae
3	Wange mit Nasolabialfalte	17	Foramen mentale
4	Canalis infraorbitalis	18	Linea obliqua
5	Concha nasalis inferior	19	Fovea digastrica
6	Septum nasi mit crista nasalis maxillae	20	Os hyoideum
7	Sinus maxillaris	21	Zungengrund
8	Fovea lacrimalis	22	Basale Kompakta
9	Canalis nasopalatinus mit Foramen incisivum	23	Angulus mandibulae
10	Spina nasalis anterior	24	Processus anguli, Tuberositas masseterica
11	Lamina horizontalis ossis palatini	25	Collum mandibulae
12	nasopharyngealer Raum	26	Processus articularis mandibulae
13	Fossa pterygopalatina	27	Processus muscularis mandibulae
14	Corpus ossis zygomaticus mit Linea innominata		

Tabelle 5 : Daten aus Alter (ergänzt) (ZMZ UZH 2009 [63])

2.3.5 Analoge und digitale Orthopantomographen

Untenstehend sind technische Spezifikationen zu analogen bzw. digitalen OPT-Geräten aufgeführt. Diese können jedoch je nach Hersteller und Modell variieren.

- Röhrenspannung: 50 - 90 kV
- Röhrenstrom: 2-16 mA
- Generator: Hochfrequenz 75 – 150 KHz
- Brennfleck: 0.5mm
- Filterung: 2.25 – 2.8 mm
- Belichtungszeit: 2.7 – 19 Sek.
- Vergrößerung: um Faktor 1.27 / 1.3
- Pixelgrösse Sensor: um 27 – 48 µm (digital)
- Pixelgrösse im Bild: um 96 µm (4x Pixelgrösse Sensor (digital))
- Graustufen: zwischen 12 Bit (4'096) – 16 Bit (65'536) (digital)
- Filmgrösse: 15 x 30 cm / 12 x 30 cm

Daten aus (Röttscher 2000 [28], Lambrecht et al. 2004 [64], healthco-breitschmid® 2012 [65], CURADEN® AG 2013 [66])

Analog

Die analoge Röntgenaufnahmetechnik ist die am weitesten verbreitete Methode, verliert jedoch mit Aufkommen der digitalen Technik zunehmend an Marktanteilen. Bei der analogen Technik trifft von einer extraoralen Röntgenquelle die Strahlung auf einen ebenfalls extraoralen Röntgenfilm. Dieser bildet zusammen mit einer Verstärkerfolie eine Einheit und zeichnet das Strahlenbild auf. Anschliessend wird der Röntgenfilm mit geeigneten Lösungen entwickelt und fixiert. Für weitere Informationen über die analoge Orthopantomographie wird auf einschlägige Literatur verwiesen wie Pasler 2003 [50].

Digital

Bei der digitalen Methode braucht man anstelle eines direkt belichteten Films und anschliessender Entwicklung andere Verfahren, um ein sichtbares Röntgenbild herzustellen. Man bedient sich dabei Speicherfolien, Sensoren, Lasertechnik und Rechenmaschinen. Es wird klassifiziert nach:

1. Technik mit Speicherfolien oder
2. Technik mit Sensoren (halbleiterbasierte Flachdetektoren) (Sevkusic 2008 [67]).

2.3.6 Qualitätsunterschiede analog zu digital

In den nachfolgenden Zusammenfassungen verschiedener Studien aus den letzten über 10 Jahren wird auf die qualitativen Unterschiede zwischen analogen und digitalen Röntgenverfahren eingegangen:

Ramesh et al. (2001 [68]) verglichen digitale mit analogen Panoramaschichtaufnahmen. Das Hauptaugenmerk lag auf der Erkennung von Karies und Parodontalerkrankungen bei 5 Patienten durch 4 Untersucher. Insgesamt wurden 50 kariöse Flächen und 159 parodontale Pathologien erkannt. Keine signifikanten Unterschiede wurden bei der Karies-Diagnostik festgestellt ($P=0.704$). Das Erkennen von Parodontalerkrankungen war 2001 auf dem analogen OPT jedoch signifikant besser ($P=0.015$, Schwelle zur Signifikanz bei $P=0.05$).

Schulze et al. (2002 [69]) verglichen die Bildqualität (Kontrast) von analogen Panoramaschichtaufnahmen mit digitalisierten Versionen derselben Aufnahmen. Das konventionelle OPT-Gerät Orthophos CD (Siemens®) wurde zur Erstellung der Panoramaschichtaufnahmen eingesetzt. Geröntgt wurde ein Keil aus Aluminium, welcher rasterartig mit Löchern versehen war (90 willkürlich verteilte Löcher, 10mm x 7mm). Es wurde ein CCD-Sensor basierter Flachbett-Scanner der Firma Friadent® GmbH verwendet, welcher speziell für das Digitalisieren von Röntgenbildern entwickelt wurde. Digitalisiert wurde mit 300 dpi (dots per inch), was der Standardauflösung in der zugehörigen Software FRIACOM® DentalOffice® entspricht (Version 2.4.175). Analoge Bilder und digitalisierte Pendants wurden durch 2 Gruppen von 50 Observanten begutachtet, wobei 7 Personen beiden Gruppen angehörten. Obwohl die Sensitivität beim analogen Verfahren signifikant höher war, wurden keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Methoden festgestellt. Als mögliche, das Resultat beeinflussende Ko-Faktoren, wurden die Routine des Betrachters in der Analyse von digitalisierten Röntgenbildern, die Raumhelligkeit, die jeweilige Materialdicke des Keils, der Winkel der Strahlenquelle zum Versuchsobjekt oder Eigenschaften des Scanners und weitere Faktoren genannt. Bei einem relativ dunklen Hintergrund wurden Kontrastunterschiede beim digitalen Bild weniger gut dargestellt. Die Sensitivität war in Bereichen mit mittlerer Hintergrundhelligkeit am höchsten.

Molander et al. (2004 [70]) verglichen die Bildqualität von 2 digitalen Speicherplatten-Systemen mit herkömmlichen filmbasierten Panoramaschichtaufnahmen. Von 60 Personen wurden jeweils eine analoge und digitale Panoramaschichtaufnahme erstellt, wobei die digitalen Aufnahmen in 30 Personen mit Speicherplattensystem DenOptix™ (Dentsply®/Gendex®) und 30 Personen mit Speicherplattensystem Digora® PCT unterteilt wurde. Die Analyse der digitalen Bilder mit einer Auflösung von 300dpi wurde an einem 19 Zoll Monitor vorgenommen. Zehn Observanten führten die Analyse verschiedener anatomischer Strukturen unter Berücksichtigung von 5 Qualitätskategorien durch. Die Differenz zwischen analogen und digitalen OPT's war klein aber signifikant ($P<0.0001$). Die Differenz zwischen den 2 Speicherplattensystemen war nicht signifikant ($P\geq 0.17$). In zwei Drittel der Fälle war die digitale Panoramaschichtaufnahme gleichwertig mit den analogen.

Gijbels et al. (2004 [71]) untersuchten die subjektive Bildqualität von 15 digitalen Panoramaschichtaufnahmen am Computerbildschirm im Vergleich zu Ausdrucken mit einem

professionellem Thermodrucker und Tintenstrahldruckern auf verschiedenen Medien. 5 Untersucher teilten die Aufnahmen in 5 Qualitätsstufen anhand optischer Erscheinung anatomischer Strukturen ein. Bildqualität mit direktem Thermaldruck fiel am besten aus gefolgt von Computerbild (17" Zoll, 1024x768 Bildpunkte), Tintenstrahl auf transparentem Papier, glänzendes Papier, Satin-Papier und schliesslich normales Papier. Das subjektive Erscheinungsbild einer Röntgenaufnahme variierte je nach angewandter Methode. Zwischen der Betrachtung des OPT's am Computerbildschirm und dem Ausdruck vom Thermaldrucker wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. *Anmerkung zu dieser Studie: Eine mögliche Erklärung warum die Betrachtung am Computerbildschirm dem Thermodrucker nicht überlegen war, ist, dass ein Röhrenmonitor mit eher grober Auflösung verwendet wurde.*

Eine Studie von **Yalcinkaya et al.** (2006 [72]) verglich die Bildqualität von konventionellen gegenüber digitalen OPT's und periapikalen Aufnahmen. Die analoge Methode erwies sich bei einer qualitativ guten Aufnahme als signifikant besser. Die Studie ist mit 20 Individuen angesichts der kleinen Fallzahl allerdings nur beschränkt aussagekräftig. Es wird empfohlen beim digitalen Verfahren Filtertechniken zur Bildoptimierung anzuwenden.

Introna et al. (2008 [73]) beschrieben in ihrer Studie mit 83 OPT's (245 untere und obere dritte Molaren) von kaukasischen Individuen das digitale OPT im Vergleich zum analogen als akkuratere Methode zur Diagnostik der folgenden anatomischen Strukturen: Frontzähne, Wurzelspitzen, Boden der Nasen- und Kieferhöhle, nasale Scheidewand und mandibulärer Kondylus. In digitalen OPT's wurden gegenüber analogen weniger Artefakte dargestellt.

Landa et al. (2009 [74]) überprüften die Methode von Kvaal et al. (1995 [75]) anhand digitaler Panoramaschichtaufnahmen. Kvaal et al. hatten auf periapikalen Röntgenaufnahmen verschiedene Dimensionen des Pulpakavums im Verhältnis zum chronologischen Alter untersucht. In der Studie von Landa et al. wurden jeweils 3 mandibulare Zähne (Front-, Eckzahn, Prämolare) von 100 kaukasischen Individuen mit Alter von 14 bis 60 Jahren untersucht. Das mittlere Alter betrug 36 Jahre. Eine Altersschätzung mit der Methode nach Kvaal et al. führt mit digitalen Panoramaschichtaufnahmen zu grossen Abweichungen – oft Unterschätzung – gegenüber dem realen Alter. Es wurde daher die Schlussfolgerung gezogen, dass digitale OPT's bei Altersschätzungen nach Kvaal et al. nicht empfohlen werden können.

Baksi et al. (2010 [76]) untersuchten die subjektive Bildqualität von anatomischen Strukturen auf konventionellen filmbasierten und digitalen Panoramaschichtaufnahmen (Speicherplatten). Die Studie ging zudem auf die Effekte von Bildbearbeitungsmöglichkeiten und Algorithmen zur digitalen Bildprozessierung ein. 42 Patienten wurden analog und digital erfasst. Die digitalen Bilder wurden gefiltert in Helligkeit, Schärfe, Negativ-Darstellung, Grauskala (sigma und exponentielle Filter). 4 Betrachter evaluierten die analogen Filme, die unbearbeiteten digitalen Bilder und die bearbeiteten digitalen Bilder. Die Sichtbarkeit von anatomischen Strukturen mit unterschiedlicher radiologischer Dichte wie auch die Gesamtbildqualität wurde anhand einer 3-Punkte-Skala gewertet. Zwischen analogen Filmen und ungefilterten digitalen Bildern wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden ausser bei Strukturen mit tiefem Kontrast. Analoge Filme erwiesen sich für die Sichtbarkeit dieser

Strukturen als geeigneter ($P < 0.05$). Die beste Gesamtbildqualität wurde mit geschärften digitalen Bildern erreicht ($P < 0.05$) gefolgt von analogen und schliesslich von unbearbeiteten digitalen Bildern. Geschärfte digitale Bilder erreichten die beste Sichtbarkeit für verschiedene anatomische Strukturen ($P < 0.05$). Schwelle zur Signifikanz liegt bei $P = 0.05$.

Mahesh et al. (2011) [77]) verglichen digitale und analoge Panoramaschichtaufnahmen zur Diagnostik von 80 impaktierten dritten Molaren im Unterkiefer. Es wurden keine signifikanten Unterschiede bei der Diagnostik hinsichtlich Impaktion, Zahnposition, Anzahl der Wurzeln und Nähe des Molaren zum mandibulären Kanal gefunden. Die Autoren konnten einen Unterschied bei der Beurteilung der Wurzelmorphologie feststellen, wobei das digitale Verfahren dem analogen signifikant überlegen war ($P = 0.00$, Schwelle zur Signifikanz liegt bei $P = 0.05$).

Yasar et al. (2011 [78]) untersuchten den Einfluss der Bildkompression auf 55 digitalen Panoramaschichtaufnahmen bei Verwendung eines Kodak® 8000 Systems mit CCD-Sensor (Standarteinstellungen). Die evaluierten anatomischen Strukturen waren bei Verwendung des TIFF-Formates für den Betrachter visuell klarer erkennbar als beim JPEG-Format ausser dem canalis mandibulae und dem foramen mentale. Bei Verwendung des JPEG-Formates wurde jedoch eine kleinere inter- sowie intra-Betrachter-Varianz gefunden. *Anmerkung zu dieser Studie: Diese Feststellung ist eventuell auf die schlechtere Gesamtqualität der JPEG-Darstellung zurückzuführen.*

Sabarudin et al. (2013 [79]) verglichen die Bildqualität von insgesamt 54 Panoramaschichtaufnahmen. Diese Kohorte setzte sich zusammen aus konventionellen sowie unbearbeiteten direkt-digitalen und bearbeiteten direkt-digitalen OPT's. Alle Aufnahmen wurden anschliessend ausgedruckt und von 2 erfahrenen Untersuchern anhand eines Gesamtscores beurteilt. Dieser Wert resultierte aus verschiedenen Parametern wie Kontrast, Helligkeit und Darstellung von anatomischen Strukturen. Die bearbeiteten direkt-digital erstellten OPT's erzielten das höchste Gesamtscore mit 3.45 ± 0.19 , gefolgt von unbearbeiteten digitalen OPT's mit 3.33 ± 0.33 sowie konventionellen OPT's mit 2.06 ± 0.40 . Die Untersucher kamen zur Schlussfolgerung, dass das digitale Verfahren gegenüber der analogen Methode in der Bildqualität überlegen ist. Die Möglichkeit zur digitalen Nachbearbeitung erhöht die diagnostische Qualität (radiologische Dichte und Kontrast) gegenüber konventionellen OPT's signifikant (Schwelle zur Signifikanz liegt bei $P = 0.05$).

In weiteren Studien zu analogen und digitalen OPT-Geräten wurde von **Nessi** (1996 [80]), **Benediktsdottir et al.** (2003 [81]), **Makris et al.** (2006 [82]), **Peker et al.** (2009 [83]) und **Parissis et al.** (2010 [84]) zwischen den beiden Verfahren generell eine vergleichbare Bildqualität festgestellt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass digitale Röntgenverfahren über die vergangene Dekade bezüglich Bildqualität aufgeholt haben und aktuell der analogen Technik in der Regel überlegen sind.

2.3.7 Strahlenrisiko und Strahlenbelastung

Es wird zwischen natürlicher und künstlich erzeugter Strahlenbelastung unterschieden. Die mittlere jährliche Strahlenbelastung beträgt in der Schweiz 4mSv, welche sich zusammensetzt aus einer mittleren natürlichen Strahlenbelastung von 3mSv und einer künstlichen von 1mSv (Abb.8).

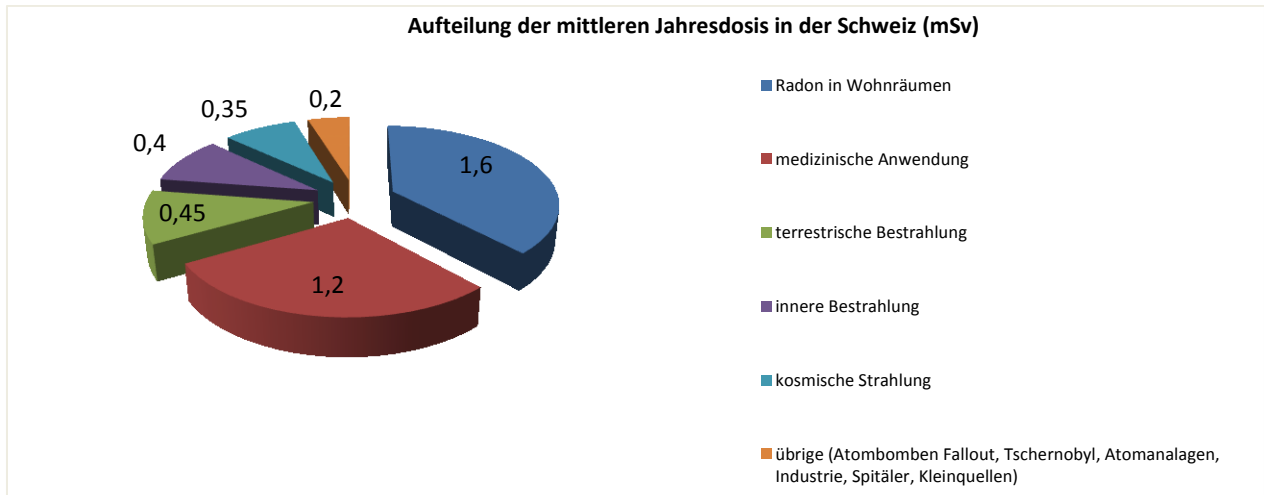


Abb 8: Daten zu Diagramm aus BAG (2007 [27])

Zur Messung der radioaktiven Strahlung gibt es drei verschiedene Masseinheiten:

- Die Einheit für die Aktivität eines radioaktiven Stoffes ist Becquerel. Sie gibt an, wie viele Atome einer Materie pro Sekunde zerfallen. Je nach radioaktivem Stoff besitzt dieser entsprechend unterschiedliche Halbwertszeiten. (BAG 2007 [27])
- In der Medizin werden hauptsächlich die Begriffe Gray und v.a. Sievert gebraucht. Gray beschreibt die zur angewandten Strahlungsdosis absorbierte Energie pro Masse. Gray ersetzt seit 1985 die alte Einheit rad. (STSV 2012 [26], Römpf 1999 [85])
- In der medizinischen Anwendung interessieren v.a. die angerichteten biologischen Schäden. Die effektive Dosis ist ein Mass für die Gesamtgefährdung eines bestrahlten Menschen bezüglich Krebs und Erbschäden und wird in Sievert angegeben. (BAG 2007 [27])

Natürliche Strahlenexposition

Strahlenquellen sind das Weltall, die Sonne, Gesteine und terrestrische Strahlung, die etwa 3mSv ausmachen. Beispiele zu Strahlenquellen sind die Elemente Radon und Kalium. (BAG 2007 [27], FME 2011 [86]).

Das Edelgas **Radon**, welches aus radioaktiven Isotopen besteht, kommt gehäuft vor in Kellerbereichen oder in sonnigen Gebieten (Kanton Tessin, Schweiz) und kann eine stündliche Strahlenbelastung von 20µSv erreichen. Radon und seine Zerfallsprodukte tragen zur

durchschnittlichen Jahresdosis fast die Hälfte bei. Radon lagert sich in Bronchien und Lungengewebe ab (FME 2011 [86], BAG 2007 [27], wikipedia 2014 [87]).

Das mit der Nahrung aufgenommene Element Kalium enthält zu einem kleinen Teil auch das radioaktive Isotop Kalium40. Die Aktivität dieses Isotops beträgt 5'000 Bq (Becquerel). Eine Strahlenbelastung durch aufgenommene Nahrung wird als innere Bestrahlung bezeichnet. Kalium40 liefert fast die Hälfte der gesamten inneren Bestrahlung. (BAG 2007 [27])

Künstlich erzeugte Strahlenexposition

In der Umwelt vorhandene künstliche Radioaktivität ist vor allem auf medizinische Strahlenquellen zurückzuführen. Der Anteil an künstlich erzeugter Strahlung beträgt ca. 1mSv (Abb. 8).

Die Gesamtgefährdung für eine bestrahlte Person wird mit der **effektiven Dosis** gemessen. Dieser errechnete Wert beschreibt das Strahlenrisiko für den gesamten Körper wenn z.B. nur ein Körperteil oder ein einzelnes Organ einer radioaktiven Quelle ausgesetzt worden ist. Wenn mehrere Organe oder der gesamte Körper einer Strahlenbelastung ausgesetzt werden, so steigt auch die effektive Dosis. Die effektive Dosis wird in Sievert (Sv; 1Sv = 1J/Kg) angegeben (STSV [26], BAG 2007 [27]). Aus der Broschüre des BAG* (2007 [27]) zur Radioaktivität und Strahlenbelastung stammt folgendes Zitat: „Eine Dosis, die in Sievert angegeben ist, berücksichtigt die dem Gewebe übertragene Energie und die unterschiedliche biologische Wirkung der Strahlenarten.....Diese (Anm. die effektive Dosis) ist das Mass für die Gesamtgefährdung eines bestrahlten Menschen bezüglich Krebs und Erbschäden. Sie berücksichtigt die Energieabgabe, die Strahlenart, die unterschiedliche Empfindlichkeit der betroffenen Organe und somit auch die Verteilung der Bestrahlung über den Körper.“ (BAG 2007 [27]). Tabelle 6 stellt die Strahlenbelastung und die effektiven Dosen von einigen medizinischen Anwendungen zusammen.

*BAG: Bundesamt für Gesundheit der Schweizerischen Eidgenossenschaft

Strahlenbelastung	Beispiele von Röntgenuntersuchungen	Effektive Dosis
Sehr gering	Einzelne Zähne, Hand, Ellbogen, Fuss, Knie	ca. 0,01 mSv (0,003 – 0,03)
Gering	Schädel, Lunge, Hüfte	ca. 0,1 mSv (0,03 – 0,3)
Mittel	Becken, Bauch, Wirbelsäule, Mamma, CT Kopf und Hals	ca. 1 mSv (0,3 – 3,0)
Hoch	Computertomographie von Wirbelsäule, Bauch oder Becken. Gefässdarstellungen. Röntgenkontrastmitteluntersuchungen von Nieren, ableitenden Harnwegen und Magen-Darmbereich	ca. 10 mSv

Tabelle 6: Daten aus BAG (2007 [27])

Strahlenbelastung beim OPT

Drei aktuelle und repräsentative Studien untersuchten die Strahlenbelastung durch das OPT und konnten zeigen, dass diese für den Menschen minimal ist.

Roth (2006 [88]) ermittelte eine effektive Dosis bei einer Einzelaufnahme von 0,005mSv und bei einer Panoramaschichtaufnahme von 0,065mSv. Die Strahlenbelastung bei zahnärztlichen Röntgen liegt demnach weit unter dem gesetzlich vorgegebenen Grenzwert vom 1mSv (StSV Art. 28 [26]).

Patcas et al. (2012 [89]) befassten sich unter anderem mit der Frage, ob zahnmedizinische Röntgenaufnahmen bei Schwangeren indiziert und zulässig sind. Das Potential zur Schädigung eines Embryos bzw. Fetus hängt von der Strahlendosis, der Dosisverteilung und von dem Zeitpunkt der Schwangerschaft ab. Entsprechend den Empfehlungen zum Strahlenschutz und zur Strahlenexposition müssen bei einer pränatalen Strahlenexposition keine Massnahmen ergriffen werden, falls der Embryo bzw. Fetus nicht im Nutzstrahlenbündel liegt (direkte Bestrahlung) und die Dosis kleiner als 20mSv ist. Bei einer beruflich strahlenexponierten schwangeren Frau darf in der Schweiz eine effektive Dosis von 1mSv nicht überschritten werden (StSV Art.36 [26]).

Jung (2000 [90]) untersuchte das Mortalitätsrisiko von Organen (**z.B. Haut, Knochen und Knochenmark**) im menschlichen Körper bei Handröntgen und Panoramaschichtaufnahmen. Bei den genannten Aufnahmen wird jeweils nur ein kleiner Teil des Gesamtorgans bestrahlt und Jung berechnete das resultierende Mortalitätsrisiko des gesamten Organs. Weiter verglich er die Strahlenbelastung mit alltäglichen Situationen. Bei einem Handröntgen liegt die Strahlendosis ca. bei 2 Stunden natürlicher Exposition (sich im Freien aufhalten) und bei einer Panoramaschichtaufnahme ca. bei 6 Stunden natürlicher Exposition. Das Risiko nach 40 Jahren aufgrund einer Handröntgenaufnahme bzw. OPT durch einen strahleninduzierten Krebs zu sterben, entspricht dem Risiko in 1 Stunde bzw. 2,5 Stunden Fahren im Strassenverkehr einen tödlichen Verkehrsunfall zu erleiden.

Strahlenbelastung von analogen gegenüber digitalen Verfahren

Lambrecht et al. (2004 [64]) untersuchten die Strahlenexposition von Geweben und Strukturen im Kopf-Halsbereich anhand eines Phantoms (Rando©-Phantom [91]). In dieser Untersuchung wurden analoge und digitale 14 Bild-Röntgenstaten und Panoramaschichtaufnahmen (PSA/OPT) in Bezug auf die Strahlenbelastung verglichen. Beim digitalen OPT ergab sich gegenüber dem analogen eine um 17% reduzierte Dosis. Bei dem 14 Bild-Röntgenstatus entsprach die Dosisreduktion gesamthaft 47%. Tabelle 7 (siehe folgende Seite 24) zeigt, dass die Dosisreduktion je nach anatomischer Struktur aber unterschiedlich hoch ausfällt.

Effektive Dosen (μSv)						
Parameter	Status analog	Status digital	Differenz	PSA analog	PSA digital	Differenz
Effektive Dosis	78	41	-47%	54	45	-17%
Augenlinse	102.8	41.4	-31%	17.2	18.6	+8%
Gehirn	23.2	8.8	-62%	6.9	7.4	+7%
Gl. Parotis (Haut)	899.2	198.5	-84%	298	305.9	+3%
Gl. Submand.	1'849	1'011.1	-45%	104	105.0	+1%
Hypophyse	131	61	-53%	54.7	50.7	-8%
Knochenmark	220	100.5	-54%	174.5	158.5	-10%
Oesophagus	172.8	53.9	-69%	103.9	53.1	-49%
Sinus maxillaris	2'217.5	1'151.9	-48%	227.4	326	+43%
Thyreoidea	126.9	49.8	-61%	73.6	84.6	+13%

Tabelle 7: Daten aus Lambrecht et al. (2004 [64])

Gijbels et al. (2005 [92]) untersuchten Unterschiede der effektiven Dosen zwischen 5 verschiedenen digitalen OPT-Geräten. Die Messungen wurden an einem Phantom durchgeführt und die Geräte jeweils mit Standarteinstellungen nach Herstellerangaben betrieben. 4 dieser OPT-Geräte registrierten anhand von CCD-Sensoren (direkt-digitale Technik) und 1 System anhand einer Speicherplatte (indirekt-digitale Technik). Die effektive Dosis bei den 4 direkt-digitalen Verfahren lag zwischen 4.7 bis 14.9 μSv (Mittelwert 9.35 μSv und Median 8.9 μSv) und beim indirekt-digitalen Verfahren bei 8.1 μSv . Die Autoren kamen zum Schluss, dass unter Berücksichtigung von Daten aus früheren Untersuchungen zur Strahlenbelastung bei analogen Systemen, bei digitalen Systemen für den Patienten eine kleinere Strahlenbelastung resultiert.

Auch **Silva et al.** (2008) [93]) untersuchten am Phantom die unterschiedlichen Strahlenbelastungen bei analogen und digitalen Panoramaschichtaufnahmen und stellten wie Gijbels et al. fest, dass die digitale Aufnahmetechnik eine kleinere Strahlenbelastung für den Patienten bedeutet.

2.4 Strukturbilogie des Parodonts

2.4.1 Aufbau und Funktion des Parodonts

Das Parodont stellt den eigentlichen Zahnhalteapparat dar und setzt sich aus Wurzelzement, Desmodont, Alveolarknochen und (marginaler) Gingiva zusammen. Das Desmodont (Wurzelhaut, Periodontium) ist ein derbes zell-, und faserreiches Bindegewebe, welches die Wurzeloberfläche eines Zahnes mit dem Alveolarknochen verbindet. Auf Höhe des Alveolarknochenkammes geht das Desmodont kontinuierlich in Gewebe der angewachsenen Gingiva über. Die Grundsubstanz des Desmodonts hat die Funktion einer mechanischen Dämpfung, was auch eine Eigenschaft der enthaltenen geflechtartigen Blutgefäße darstellt. Der Aufbau des Parodonts mit Funktion als Polster und Aufhängung des Zahnes erlaubt eine gewisse Beweglichkeit. Beim Kauen von Nahrung

herrschen kleine wiederholende physiologische Krafteinwirkungen, welche durch die orale Muskulatur (Zunge, Lippen oder Wange) ausgelöst und über Antagonisten oder Nachbarzähne weitergeleitet werden (Schroeder 2000 [94], Luder 2007 [95]).

Im Röntgenbild manifestiert sich das Parodont normalerweise als 0.2mm breiter Spalt, der als Parodontalspalt (Synonyme: Desmodontalspalt, Periodontalspalt) bezeichnet wird. Die Breite ist u.a. abhängig von der okklusalen Belastung und der Lokalisation auf der Wurzel, wie in Abb. 9 an einem histologischen Schnitt durch einen Frontzahn und einen Molaren gezeigt wird. Die Dicke nimmt mit zunehmendem Alter ab wie auch bei Hypofunktion (verminderte okklusale Belastung). Es kommt zu einer Atrophie des Faserapparates und die Dichte der Faserbündel nimmt ab. Bei funktioneller Belastung ergibt sich eine Anpassung bzw. eine Verbreiterung, da kollagene Faserbündel in der Dicke zunehmen (Schroeder 2000 [94], Luder 2007/2013 [95] [96]).

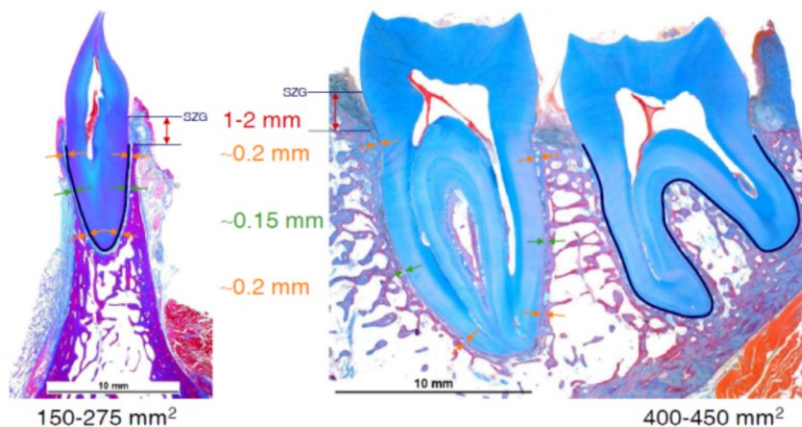


Abb.9: Histologisches Präparat, Masse des Parodontalspaltes (mit freundlicher Genehmigung, Luder 2011 [97])

Der Zahnhalteapparat unterliegt kontinuierlichen Umbauvorgängen, welche durch Mesialwanderung (Zahnwanderung) und Okklusionskontakte hervorgerufen werden. Mit zunehmendem Alter nimmt die Gefäßversorgung, die Anzahl der parodontalen Zellen und die mitotische Aktivität im Parodontalspalt ab. Die Bildungsrate von Kollagen wird geringer und elastische Fasern nehmen zu (*zit. aus Kupfer 2010* [48], Rateitschak et al. 1978 [98], Ketterl 1983 [42]).

Coolidge (1937 [99]) beschrieb in seiner histologischen Untersuchung von Dünnschnitten von ein- und mehrwurzeligen Zähnen, dass die **Breite des parodontalen Spaltes** mit zunehmendem Alter abnimmt. Weiter stellte er fest, dass durch funktionelle Einflüsse (mastikatorische Funktion) die Breite des Spaltes zunimmt. Andererseits weisen Zähne ohne Antagonisten einen kleineren Durchmesser des Parodontalspaltes auf. In ektopischen, frei stehenden oder driftenden Zähnen fand Coolidge eine erhöhte Breite des parodontalen Spaltes. Bei den driftenden Zähnen stellte er einen kleineren Durchmesser an der in Bewegungsrichtung zugewandten Seite (Druckkräfte) fest gegenüber der abgewandten Seite (Zugkräfte). Die folgende Tabelle 8 veranschaulicht die von Coolidge gefundenen Werte.

Durchschnittliche Breite des Parodontalspaltes (mm) im Verhältnis zum Alter und Funktioneller Belastung (154 Zähne aus 14 Kiefern)						
Alter in Jahren	Fallzahl	Anzahl Kiefer	am Knochenkamm	Wurzelmitte	am Apex	Mittelwert
11 – 16 (Gruppe A)	83	4	0.23	0.17	0.24	0.21
32 – 50 (Gruppe B)	36	5	0.20	0.14	0.19	0.18
51 – 67 (Gruppe C)	35	5	0.17	0.12	0.16	0.15
Funktionsabhängig:						
starke Belastung	44	8	0.20	0.14	0.19	0.18
ohne Antagonist	20	12	0.14	0.11	0.15	0.13
verlagerte Zähne	5	5	0.09	0.17	0.18	0.08
ektop. und drift. Zähne	15	8	0.22	0.16	0.18	0.19

Tabelle 8: Durchschnittliche Breite des Parodontalspaltes (aus Coolidge (1937 [99]))

Tabelle 8 zeigt bei allen gemessenen Wurzelabschnitten abnehmende Werte bei der Breite des Parodontalspaltes mit zunehmenden Alter.

2.5 Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist die wissenschaftliche Untersuchung der radiologischen Sichtbarkeit des Parodontalspaltes von linken (Zahn 36) und rechten (Zahn 46) unteren ersten Molaren auf direkt-digital hergestellten Orthopantomogrammen (OPT's). Es soll untersucht werden, ob sich die altersabhängigen radiologisch sichtbaren Veränderungen des Parodontalspaltes für die Altersdiagnostik verwenden lassen. Spezifisch wird auf die altersabhängigen Veränderungen im Hinblick auf die juristisch bedeutsamen Altersgrenzen 15 (Beginn Jugendstrafrecht), 16 (Schutzalter) und 18 Jahre (Beginn Erwachsenenstrafrecht) eingegangen.

Die kritische Auseinandersetzung mit der Arbeit von Olze et al. (2010 [2]) rundet diese Arbeit ab. Diese sind in einer auf die Verhältnisse in Deutschland bezogenen Untersuchung anhand von Weisheitszähnen auf analogen Panoramaröntgenbildern auf ähnliche Fragestellungen eingegangen.

3 Material und Methode

3.1 Patientengut

1'429 direkt-digital erstellte Orthopantomogramme von 14 bis 22-jährigen Individuen konnten systematisch retrospektiv ausgewertet werden. 671 (46.9%) Aufnahmen stammten von männlichen und 758 (53.1%) von weiblichen Individuen. Insgesamt wurden 2'588 linke und rechte untere Molaren untersucht, 1'183 (45.7%) von männlichen und 1'405 (54.3%) von weiblichen Patienten. Tabelle 9 zeigt die detaillierte Verteilung aufgeteilt nach Altersjahr, Geschlecht und Anzahl OPT's.

Fallzahl pro Altersgruppe					
Alter	Anzahl (N) Zähne für m	Anzahl (N) Zähne für w	Gesamt Anzahl (N) Zähne	Anzahl (N) OPT's	(N) in %
14	120	143	263	149	10.2%
15	111	139	260	145	10.0%
16	115	143	258	139	10.0%
17	136	142	278	157	10.7%
18	139	164	303	166	11.7%
19	149	171	310	175	12.0%
20	143	167	310	173	12.0%
21	140	172	312	164	12.1%
22	130	164	294	161	11.4%
Gesamt	1'183	1'405	2'588	1'429	100%

Tabelle 9: Fallzahl pro Altersgruppe

Die prozentuale Verteilung der nachkontrollierten Molaren liegt zwischen 10% und 12,1% je Jahrgang und ist damit sehr gleichmässig. Die Aufnahmen wurden zwischen 2004 und 2012 in verschiedenen Kliniken am Zentrum für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde (ZZM) der Universität Zürich erstellt und in einer digitalen Datenbank abgelegt. Das finnische Produkt Soredex® Cranex Excel D, Modell SL-4/PT-11 (Soredex® [100]) wurde für die Herstellung der Orthopantomogramme verwendet.

Die ethnische Herkunft ist in der Datenbank nicht erfasst. Es wird jedoch angenommen, dass die Mehrheit der Aufnahmen der kaukasischen Ethnie zugeordnet werden kann.

3.2 Datenerhebung

Aus folgenden Gründen wurden digitale OPT's für diese Untersuchung gewählt: Der vorhandene Datenpool genügte für ca. 150 Aufnahmen pro Altersjahr. Die digitale Orthopantomographie ist verglichen mit der analogen, dieser zumindest äquivalent, wenn nicht überlegen (siehe Kapitel 2.3.6 *Qualitätsunterschiede Analog zu Digital*, S. 18). Ein weiterer Vorteil digitaler Röntgenbilder ist die Möglichkeit Helligkeit, Kontrast und Schärfe vergleichbar einstellen zu können.

Die Ausschlusskriterien für die Untersuchung sind nachfolgend in Wort und Bild (siehe folgende Seite 29 Abb. 10 - 18) zusammengestellt:

Ausschlusskriterien

Allgemeine Ausschlusskriterien

- Schlechte Qualität des Panoramaröntgenbildes
- Gebiss mit fortgeschrittenen Karies- und Parodontalschäden
- Überdeckung der zu beurteilenden Wurzeln der Zähne **36/46** mit metallischen Strukturen (kieferorthopädische Apparaturen, chirurgisches Osteosynthesematerial etc.)

Spezifische, die Zähne **36/46** betreffende Ausschlusskriterien

- Lokale Parodontopathien
- Grosse Füllungen
- Überlagerung zumindest von Teilen der Zahnwurzeln durch benachbarte Zähne wegen Engstand oder Verlagerung
- Unvollständiges Wurzelwachstum
- Unvollständiger Zahndurchbruch
- Lokale radiologische Artefakte im Bereich der Wurzeln

Beispiele für Ausschlusskriterien im Bild (Abb. 10 – 18)

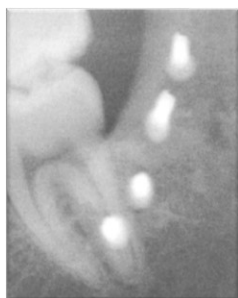
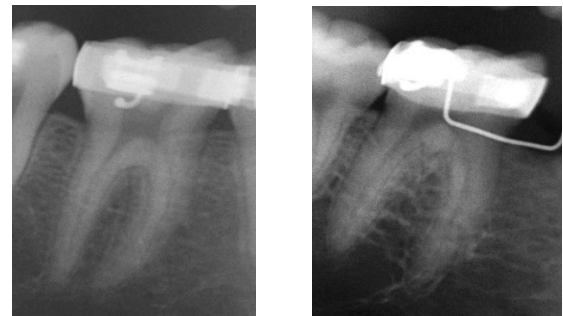
Engstand und Verlagerung von Nachbarzähnen

Überlagerung / schlechte Qualität

Parodontopathie ausgehend von einer Karies profunda

Wurzelwachstum nicht abgeschlossen

Konfluierende Wurzeln

Engstand im Wurzelbereich

Status nach Chirurgie

Kieferorthopädische Apparaturen

3.3 Testreihen

3.3.1 Bilddarstellung

Vor der Hauptstudie wurden mehrere Testreihen durchgeführt. So wurden verschiedene Bildformate, Einstellungen und Darstellungsmöglichkeiten untersucht und diskutiert. Nicht alle Untersucher (3 an der Zahl) konnten die Testreihen direkt an der Röntgen-Software DIGORA® (Soredex® [101]) am ZZM UZH betrachten. Die Röntgenbilder mussten deshalb so exportiert werden, dass an einem externen Computer in der Bildqualität der OPT's keine Unterschiede gegenüber direkter Betrachtung via DIGORA®-Software festzustellen waren.

Zur Evaluation wurden OPT's aus DIGORA® in die Formate RAW exportiert (Rohdatenformat in der digitalen Fotografie (asmp 2013 [102]), JPEG mit Kompression (Joint Photographic Experts Group [103]), TIFF ohne Kompression oder verlustfreie Kompression (Tagged Image File Format, Adobe® [104]), Windows® BMP ohne Kompression oder verlustfreie Kompression (Windows-Bitmap [105]) und DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine [106]).

Neben DIGORA® wurde die Bilddarstellung mit dem Programm ImageJ (National Institutes of Health [107]) evaluiert. Die angewandten Filter und Darstellungsmöglichkeiten wie Falschfarben oder Kantenhervorhebung (Lookup-Tables) lieferten interessante Ergebnisse, jedoch war kein relevanter Mehrwert für die geplanten Untersuchungen im Gegensatz zur Analyse via DIGORA® feststellbar.

Das JPEG-Format (komprimiertes Bildformat) lieferte als Einziges eine durch die Betrachter erkennbare schlechtere Bildqualität und wurde vor Durchführung der Testreihen ausgeschlossen. Die erste Testreihe (20 OPT's) wurde im TIFF-Format mit einer Auflösung von 16bit durchgeführt. Die zweite und dritte Testreihe (20 bzw. 100 OPT's) wurden im BMP-Format mit einer Auflösung von 8bit durchgeführt.

Zu den Testreihen wurden folgende Monitore und Laptop's verwendet: Untersucher A: Monitor ASUS® PW201 20" Zoll mit einer Auflösung von 1'680x1'050 und Glasoberfläche. Untersucher B: Monitor Samsung® Syncmaster® 2494h 24" Zoll mit einer Auflösung von 1'920 x 1'080 und Glasoberfläche. Untersucher C: Apple® MacBook® 15"4 Zoll mit einer Auflösung von 1'680 x 1'050 und Glasoberfläche. Zwischen der Analyse direkt in DIGORA® und den exportierten Bildern bzw. Darstellung an den anderen Geräten wurden keine visuell ersichtlichen Qualitätsunterschiede festgestellt.

In DIGORA® wurde zur Untersuchung ein Kontrastwert von 6 und eine Helligkeitsstufe von 4 eingestellt (mögliche Werte jeweils 0 bis 8). Weiter wurden die Funktionen „Schärfung“ und „Histogramm-Ausgleich“ aktiviert. Anschliessend wurden die Aufnahmen im TIFF- bzw. BMP-Format exportiert. Diese Einstellungen fanden über die verschiedenen Testreihen global Anwendung. In einzelnen Fällen war es jedoch nötig, Werte zu Kontrast und Helligkeit der Aufnahme leicht anzupassen, da die strahlungsbedingte Bildschwärzung variierte.

Die später folgende Hauptstudie wurde am Originalformat DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine [106]) der digital gespeicherten Orthopantomogramme durchgeführt. Verwendeter Computer-Bildschirm: EIZO® FlexScan® S1921 Flachbildschirm 19" Zoll mit einer Auflösung von 1680x1050 Bildpunkten.

3.3.2 Klassifikation

Parodontalspaltstadien

Ausgehend von der Stadieneinteilung nach Olze et al. (2010 [2]) wurde diese im Laufe der **Testreihen** modifiziert. Für die Testreihen wurde für die Beurteilung der radiologischen Sichtbarkeit des Parodontalspaltes folgende Stadieneinteilung (nachfolgend zur besseren Lesbarkeit auch Parodontalspaltstadien genannt) gewählt (Tabelle 10):

Stadieneinteilung in den Testreihen zur radiologischen Sichtbarkeit des Parodontalspaltes	
Stadium	Definition
0	Parodontalspalt komplett sichtbar
1a	Parodontalspalt bei einer Wurzel zum Teil nicht sichtbar, Spalt um beide Apices sichtbar
1b	Parodontalspalt bei einer Wurzel zum Teil nicht sichtbar, Spalt um Apex derselben Wurzel nicht sichtbar
2a	Parodontalspalt bei 2 Wurzeln zum Teil nicht sichtbar, Spalt um Apices beider Wurzeln sichtbar oder Spalt bei 1 Apex nicht sichtbar
2b	Parodontalspalt bei 2 Wurzeln zum Teil nicht sichtbar, Spalt um beide Apices nicht sichtbar
3	Parodontalspalt nicht mehr sichtbar

Tabelle 10: Parodontalspalteinteilung in den Testreihen

Für die Hauptstudie wurde das Stadium 2a noch einmal unterteilt (Stadium 2a- und 2a+, siehe Tabelle 13 auf Seite 35). Als weitere dritte Gruppe wurde zusätzlich eine Zusammenfassende Stadieneinteilung (Klassen) definiert. Die Testreihen und auch die folgende Hauptstudie wurden randomisiert durchgeführt. Das Aufnahmedatum der Orthopantomogramme war den Untersuchern bekannt, nicht aber das zugehörige chronologische Alter.

3.3.3 Statistik

Die Daten wurden mit Microsoft® Excel© erfasst und mit IBM® SPSS Statistics (Version 20) mit Unterstützung von der Abteilung für Biostatistik UZH (2011-13 [108]) analysiert. Grundsätzlich wurden deskriptive Statistiken in Form von absoluten und relativen Häufigkeiten sowie Mittelwerten und Standardabweichungen berechnet. Neben weiteren Methoden und Tests wurde der Datensatz auch mit Hilfe der logistischen Regression statistisch überprüft. Ergebnisse mit einem P-Wert kleiner als 0.05 wurden als signifikant eingestuft.

Statistische Methoden in den Testreihen

Vor der eigentlichen Hauptstudie wurden 4 Testreihen zur Evaluation der Stadieneinteilung (radiologische Sichtbarkeit des Parodontalspaltes) sowie zur Reduktion von Zwischenbeobachterfehlern durchgeführt. Die **Übereinstimmung der Untersucher** wurde in Testreihe 3 und 4 mittels Berechnung des Kappa-Koeffizienten κ ermittelt (Cohen 1960 [109]). Der Kappa-Koeffizient beschreibt die Stärke der Übereinstimmung zweier verbundener Stichproben. In der vorliegenden Arbeit soll der Kappa-Koeffizient eine Aussage machen zur Interrater-Reliabilität (Grad der Übereinstimmung der Resultate von 2 Untersuchern) (medistat 2013 [110], Biostat 2013 [108]). Für die Wertung von Kappa wurde die Einteilung nach Altman angewendet (Altman 1991 [111]).

Tabelle 11 zeigt die Einteilung des Kappa-Koeffizienten κ nach Altman.

Value of κ (Kappa)	Strenght of agreement
< 0.20	Poor (schlecht)
0.21 – 0.40	Fair (akzeptabel)
0.41 – 0.60	Moderate (mittelmässig)
0.61 – 0.80	Good (gut)
0.81 – 1.00	Very Good (sehr gut)

Tabelle 11: Daten aus Altman (1991 [111])

Weiter wurde in den Testreihen das **Bias** (deterministische Nicht-Übereinstimmung, systematischer und vermeidbarer Fehler), das in dieser Arbeit die mittlere Differenz zwischen 2 Untersuchern beschreibt, mit dem gepaarten t-Test berechnet. Der gepaarte t-Test berechnet Differenzen zwischen zwei verbundenen (abhängigen) Stichproben und untersucht ob der Mittelwert der Differenzen verschieden von 0 ist. In der vorliegenden Arbeit bedeuten verbundene Stichproben, dass die 3 bzw. 2 Untersucher in den Testreihen das gleiche Objekt zu bewerten hatten. Je näher der Wert der mittleren Differenz bei 0 ist, desto kleiner ist das vorliegende Bias. (medistat 2013 [110], Biostat 2013 [108])

Die **Abhängigkeit zwischen dem chronologischen Alter und den Parodontalspaltstadien** wurde sowohl graphisch dargestellt (Box-Plot, Streupunktdiagramm, Balkendiagramm) als auch

mathematisch mittels Korrelation (r_s) nach Spearman berechnet. Die Anwendung der Formel nach Spearman resultiert in einem Rangkorrelationskoeffizienten r_s , welcher die Stärke einer Korrelation von 2 ordinal skalierten Grössen beschreibt. Parameter r_s kann Werte zwischen -1 bis +1 annehmen. Bei $r_s > 0$ besteht ein positiver Zusammenhang, bei $r_s < 0$ ein negativer. Wenn $r_s = 0$ ist besteht kein Zusammenhang. Je weiter r_s entfernt von 0, desto stärker die positive bzw. negative Korrelation zwischen 2 Grössen. Zur Interpretation der erhaltenen Werte mittels Berechnung nach Spearman kann untenstehende Tabelle 12 hinzugezogen werden. (medistat 2013 [110], Biostat 2013 [108])

Korrelationskoeffizient r_s	Mögliche Definition
0	Keine Korrelation
über 0 bis 0,2	Sehr schwache Korrelation
0,2 bis 0,4	Schwache Korrelation
0,4 bis 0,6	Mittlere Korrelation
0,6 bis 0,8	Starke Korrelation
0,8 bis unter 1	Sehr starke Korrelation
1	Perfekte Korrelation

Tabelle 12: Daten aus Brosius (1998 [112])

3.3.4 Ergebnisse der Testreihen

Die 4 Testreihen führten zu einer Reduktion der Interrater-Reliabilität (Zwischenbeobachterfehler). Die Fehleranfälligkeit der gewählten Parodontalspaltstadien wurde kritisch diskutiert und die Definitionen dementsprechend modifiziert. Zur optimalen Darstellung der OPT's wurden die Einstellungen zu Kontrast, Helligkeit und Schärfe evaluiert und festgelegt. Zweite und dritte untere Molaren wurden ausgeschlossen, da sie sich für die geplante Studie als ungeeignet erwiesen (siehe Kap. 5.4 *Wahl des zu untersuchenden Zahnes*, S. 53). Schliesslich zeigten die Ergebnisse der Testreihen bei den Zähnen 36/46 eine schwache, jedoch hoch signifikante positive Korrelation zwischen Alter und Parodontalspaltstadien, die eine weitergehende Untersuchung rechtfertigten. Die Resultate der 3. und 4. Testreihe sind in Kap. 8.1 (S. 72 - 74) zusammengestellt.

3.4 Hauptstudie

3.4.1 Statistische Methoden

Die Annahme einer Normalverteilung wurde mittels dem Kolmogorov-Smirnov-Test und dem Shapiro-Wilk-Test kontrolliert. Der Mittelwert einer Stichprobe ist bei normalverteilten Daten die beste Anpassung an den wahren Mittelwert in der gesamten Population. Bei normalverteilten Daten liegen 68% der Daten im Bereich des Mittelwertes \pm einer Standardabweichung sowie 95% im Bereich des Mittelwertes \pm 2 Standardabweichung. Eine Normalverteilung liegt vor, wenn eine symmetrische Datenverteilung vorliegt und keine oder wenige Ausreisser zu finden sind. Der Median eines solchen Datensatzes entspricht ungefähr dem Mittelwert (Biostat UZH 2012 [113]).

Mit Hilfe einer deskriptiven Statistik wurden Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum, erster (25%), zweiter (50%, Median) sowie dritter (75%) Quartil berechnet. Auch wurden die 95% Vertrauensintervalle (95% VI) für den wahren Mittelwert ermittelt.

Die vorhergesagten Wahrscheinlichkeiten von Stadien pro Alter wurden mit Hilfe der logistischen Regression berechnet und mit deskriptiven Statistiken (Mittelwert, Standardabweichung) protokolliert. Die erhaltenen Wahrscheinlichkeiten wurden mittels Boxplots und Anpassungskurven visualisiert. Die **logistische Regression** (Altman 1991 [111]) ist ein statistisches Verfahren, mit dem die Chance (Odds) berechnet wird, dass ein Ereignis in Abhängigkeit des Alters eintritt. Als Beispiel soll die vorhergesagte Wahrscheinlichkeit des Stadiums 2b pro Alter berechnet werden. Die binäre Zielvariable (Ja=1 oder Nein=0) wäre in diesem Beispiel Stadium 2b (Ja=2b; Nein=(0, 1a, 1b, 2a-, 2a+, 3)). Der Wert Alter stellt eine erklärende Variable dar. (Biostat 2013 [108])



3.4.2 Parodontalspaltstadien der Hauptstudie

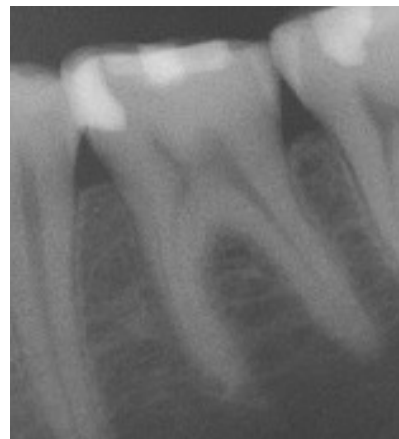
Zur besseren Übersicht sind die Definitionen aller verwendeten Parodontalspaltstadien in Tabelle 13 (siehe folgende Seite 35) noch einmal zusammengestellt. Stadium 2a aus Tabelle 10 (siehe Kap. 3.3.2 *Klassifikation*, S. 31) wurde für die Hauptstudie neu in die Stadien 2a- und 2a+ aufgeteilt. Sie unterscheiden sich durch einen sichtbaren bzw. nicht sichtbaren Apex.

Stadien zur radiologischen Sichtbarkeit des Parodontalspalt (Stadieneinteilung Studie)	
Stadium	Definition
0	Parodontalspalt komplett sichtbar
1a	Parodontalspalt bei einer Wurzel zum Teil nicht sichtbar, Spalt um beide Apices sichtbar
1b	Parodontalspalt bei einer Wurzel zum Teil nicht sichtbar, Spalt um Apex derselben Wurzel nicht sichtbar
2a-	Parodontalspalt bei 2 Wurzeln zum Teil nicht sichtbar, Spalt um beide Apices sichtbar.
2a+	Parodontalspalt bei 2 Wurzeln zum Teil nicht sichtbar, Spalt bei 1 Apex nicht sichtbar
2b	Parodontalspalt bei 2 Wurzeln zum Teil nicht sichtbar, Spalt um beide Apices nicht sichtbar
3	Parodontalspalt nicht mehr sichtbar

Tabelle 13: Übersicht zu allen Stadien

In den Abbildungen 19 - 24 sind Beispiele für die Parodontalspaltstadien zusammengestellt. Zur Veranschaulichung sind auf den Seiten 36 - 38 (Abb. 25 - 34) weitere Beispiele aufgeführt, in denen die nicht mehr sichtbaren Bereiche des Parodontalspaltmarkiert sind.

Beispiele für Parodontalspaltstadien (Abb. 19-24)	
 <p>Stadium 0</p>	 <p>Stadium 1a</p>

**Stadium 1b****Stadium 2a****Stadium 2b****Stadium 3**

Weitere Beispiele zu Stadien und radiologischer Erscheinung des Parodonts (Abb. 25 – 34)

(Durchgezogene Linie = Spalt nicht mehr sichtbar, Gestrichelte Linie = unklare Situation)

**1) Stadium 1a**



2) beide Apices teilweise aber nicht vollständig unsichtbar. Grenzfall Stadium 1a / 2a



3) Apex mesial unklar. Apex distal nicht vollständig geschlossen. Stadium 2a.



4) Apex mesial sichtbar. Apex distal verschattet: Stadium 1b



5) Apex distal unklar aber Spalt um Spitze mit Unsicherheit erkennbar: Stadium 1b

Neben der bisherigen Stadieneinteilung (Stadieneinteilung Studie) wurden zusätzlich einzelne Stadien zur „Zusammenfassenden Stadieneinteilung“ zusammengefasst und ebenfalls deren Alterskorrelation untersucht. Grund für diese Zusammenfassung von Stadien waren Erkenntnisse aus den Testreihen, die zeigten, dass die Zuordnung zu einzelnen Stadien im Einzelfall kontrovers sein konnte.

Die Zusammenfassende Stadieneinteilung (Tabelle 14) besteht aus **Klasse A** = (0, 1a, 2a-), bei welcher **der Parodontalspalt um beide Apices sichtbar ist** und die **Klasse B** = (1b, 2a+), bei welcher **der Parodontalspalt um einen Apex geschlossen erscheint**. Als dritte **Klasse C** = (2b, 3) sind die Stadien gruppiert, bei **welchen der Parodontalspalt um beide Apices nicht sichtbar ist**.

Zusammenfassende Stadieneinteilung (Klassen)			
Klasse A	= 0, 1a, 2a-	=	alle Stadien mit sichtbarem Spalt um 2 Apices
Klasse B	= 1b, 2a+	=	alle Stadien mit nicht sichtbarem Spalt um 1 Apex
Klasse C	= 2b, 3	=	alle Stadien mit nicht sichtbarem Spalt um 2 Apices

Tabelle 14: Klassen der Zusammenfassenden Stadieneinteilung

Anhand der zusammenfassenden Stadieneinteilung wurde pro Individuum die Differenz der Stadien von Zahn 46 und 36 berechnet und eine Kreuztabelle erstellt. Die absoluten und relativen Häufigkeiten der Differenzen mit Werten von -2, -1, 0, 1 und 2 Stadien wurden angegeben. Eine deskriptive Statistik (Minimum, Maximum, Mittelwert, erster (25%), zweiter (50%, Median) sowie dritter (75%) Quartil, Standardabweichung, obere und untere Grenze des 95%VI) der Differenz von 46 zu 36 wurde protokolliert.

Ebenfalls anhand der Zusammenfassenden Stadieneinteilung wurde der **Einfluss von kieferorthopädischen Therapien auf die Parodontalspaltstadien** pro Alter und auch auf die Differenz der Wertung von Zahn 46 zu 36 mittels 2-facher Varianzanalyse untersucht (Altmann 1991 [111]).

4 Resultate

Die Ergebnisse der **Stadieneinteilung Studie** (Definition siehe Tabelle 13, S. 35) und der **Zusammenfassenden Stadieneinteilung** (Definition siehe Tabelle 14, vorherige Seite 38) werden mittels Tabellen, Diagrammen und entsprechenden Ausführungen zusammengestellt.

4.1 Quantitative Auswertung

4.1.1 Quantitative Auswertung der Stadieneinteilung Studie

Die absoluten und relativen Häufigkeiten in Abhängigkeit der Parodontalspaltstadien sind nach Geschlecht getrennt (m & w) in Tabelle 15 aufgelistet.

Stadieneinteilung Studie				
Stadium	Anzahl (N) für m	Anzahl (N) für w	Gesamthaft Anzahl (N) Zähne	Gesamthaft in %
0	355 (30.0%)	459 (32.7%)	814	31.4%
1a	304 (25.7%)	400 (28.5%)	704	27.2%
1b	161 (13.6%)	173 (12.3%)	334	12.9%
2a-	140 (11.8%)	193 (13.7%)	333	12.9%
2a+	135 (11.4%)	110 (7.8%)	245	9.5%
2b	79 (6.7%)	65 (4.6%)	144	5.6%
3	9 (0.8%)	5 (0.4%)	14	0.5%
Gesamt	1'183 (100%)	1'405 (100%)	2'588	100%

Tabelle 15: Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Parodontalspaltstadien (Stadieneinteilung Studie)

In weit mehr als der Hälfte aller Fälle (58%) findet man die Stadien 0 und 1a (55% (m), 60% (w)). Bei beiden Geschlechtern nimmt die Zahl der Fälle mit höherem Stadium kontinuierlich ab, Stadium 3 kommt nur noch in weniger als einem Prozent vor.

In Tabelle 16 (siehe folgende Seite 40) sowie den Abbildungen 35 und 36 sind für beide Geschlechter die absoluten und relativen Anteile der Parodontalspaltstadien pro Jahrgang detailliert, aber auch graphisch (Boxplot und Balkendiagramm) dargestellt. Da sich die erhaltenen Daten zwischen den Geschlechtern nicht wesentlich unterscheiden, wird zur besseren Übersicht an dieser Stelle auf eine getrennte Darstellung der quantitativen Auswertung verzichtet. Die entsprechenden Tabellen und Diagramme getrennt nach Geschlechtern sind im Anhang in Kap. 8.2.1 *Quantitative Auswertung zur Stadieneinteilung Studie* (S. 74 - 76) aufgeführt.

m & w		Alter									Gesamt
Stadium		14	15	16	17	18	19	20	21	22	
0	Anzahl	148	134	93	92	73	94	69	58	53	814
	%	56.3%	51.5%	36%	33.1%	24.1%	30.3%	22.3%	18.6%	18%	31.4%
1a	Anzahl	77	67	86	97	85	82	69	81	60	704
	%	29.3%	25.8%	33.3%	34.9%	28.1%	26.5%	22.3%	26%	20.4%	27.2%
1b	Anzahl	13	27	31	29	41	41	54	46	52	334
	%	4.9%	10.4%	12%	10.4%	13.5%	13.2%	17.4%	14.7%	17.7%	12.9%
2a-	Anzahl	19	16	32	32	50	42	47	48	47	333
	%	7.2%	6.1%	12.4%	11.5%	16.5%	13.6%	15.2%	15.4%	16%	12.9%
2a+	Anzahl	4	12	12	19	33	29	38	51	47	245
	%	1.5%	4.6%	4.7%	6.9%	10.9%	9.4%	12.2%	16.3%	16%	9.5%
2b	Anzahl	1	2	4	9	18	20	30	25	35	144
	%	0.4%	0.8%	1.6%	3.2%	5.9%	6.4%	9.7%	8%	11.9%	5.6%
3	Anzahl	1	2	0	0	3	2	3	3	0	14
	%	0.4%	0.8%	0%	0%	1%	0.6%	0.9%	1%	0%	0.5%
Total Zähne		263	260	258	278	303	310	310	312	294	2'588

Tabelle 16: Absoluter und relativer Anteil der Parodontalspaltstadien in Abhängigkeit des Alters für **m & w**
(Stadieneinteilung Studie)

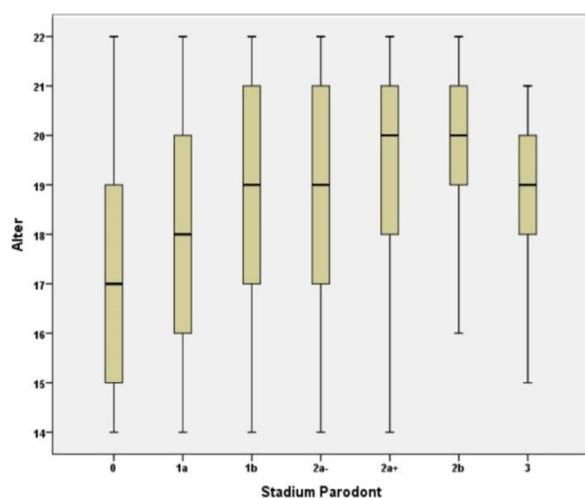


Abb. 35: Boxplot für Alter in Abhängigkeit von Parodontalspaltstadien für **m & w** (Stadieneinteilung Studie)

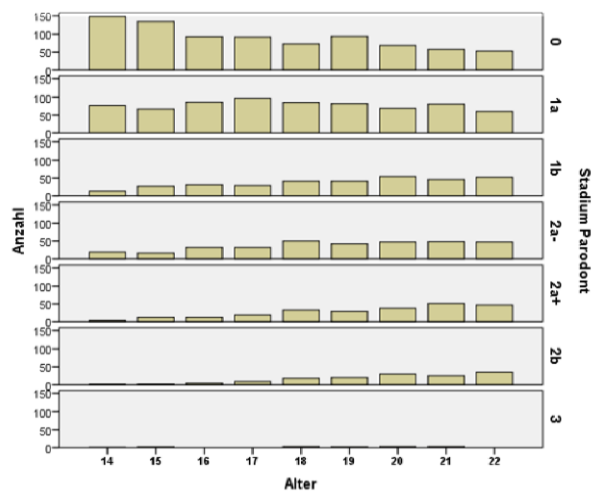


Abb. 36: Balkendiagramm für Alter in Abhängigkeit von Parodontalspaltstadien **m & w** (Stadieneinteilung Studie)

Stadium 0 nimmt mit zunehmendem Alter deutlich ab. Stadium 1a tritt über den untersuchten Altersrange von 14 bis 22 Jahre relativ gleichmässig auf. Die Fallzahlen zu den Stadien 1b, 2a, 2a+ und 2b steigen mit zunehmendem Alter an. Eine Aussage zu Stadium 3 ist wegen der kleinen Fallzahl nicht möglich.

4.1.2 Quantitative Auswertung nach Zusammenfassender Stadieneinteilung

Die absoluten und relativen Häufigkeiten in Abhängigkeit der in 3 Klassen zusammengefassten Parodontalspaltstadien (vgl. Tab. 14, S. 38) sind nach Geschlecht getrennt (m & w) in Tabelle 17 dargestellt.

Parodontalspaltklassen nach zusammenfassender Stadieneinteilung				
Klassen	Anzahl (N) für m	Anzahl (N) für w	Gesamthaft Anzahl (N) Zähne	Gesamthaft in %
A (0, 1a, 2a-)	789 (66.7%)	1'043 (74.2%)	1'832	70.8%
B (1b, 2a+)	304 (25.7%)	292 (20.8%)	596	23.0%
C (2b, 3)	90 (7.6%)	70 (5%)	160	6.2%
Gesamt	1'183 (45.7)	1'405 (54.3%)	2'588	100%

Tabelle 17: Häufigkeit von Parodontalspaltklassen (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

Fast dreiviertel der Fälle (70.8%) findet man in der Klasse A (66.7% (m) und 74% (w)). Die Fallzahlen nehmen bei beiden Geschlechtern mit den höheren Klassen B (23%) und C (6.2%) deutlich ab.

In der Tabelle 18 sowie den Abbildungen 37 und 38 sind für beide Geschlechter die Anteile der Parodontalspaltklassen absolut und relativ, aber auch graphisch (Boxplot und Balkendiagramm) pro Jahrgang dargestellt. Da sich die Daten zwischen männlich und weiblich nicht wesentlich unterscheiden, wird an dieser Stelle auf eine getrennte Darstellung verzichtet. Die detaillierten Tabellen und Diagramme sind im Anhang in Kap. 8.2.1 *Quantitative Auswertung* zur Zusammenfassenden Stadieneinteilung (S. 77 - 78) aufgeführt.

m & w		Alter									
Klasse		14	15	16	17	18	19	20	21	22	Gesamt
A	Anzahl	243	216	209	217	210	215	179	185	158	1'832
	%	92.4%	83.1%	81.0%	78.1%	69.3%	69.4%	57.7%	59.3%	53.7%	70.8%
B	Anzahl	18	40	45	52	72	73	96	99	101	596
	%	6.8%	15.4%	17.4%	18.7%	23.8%	23.5%	31.0%	31.7%	34.4%	23.%
C	Anzahl	2	4	4	9	21	22	35	28	35	160
	%	0.8%	1.5%	1.6%	3.2%	6.9%	7.1%	11.3%	9.0%	11.9%	6.2%
Total Zähne		263	260	258	278	303	310	310	312	294	2'588

Tabelle 18: Absoluter und relativer Anteil der Parodontalspaltklassen in Abhängigkeit des Alters für m & w (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

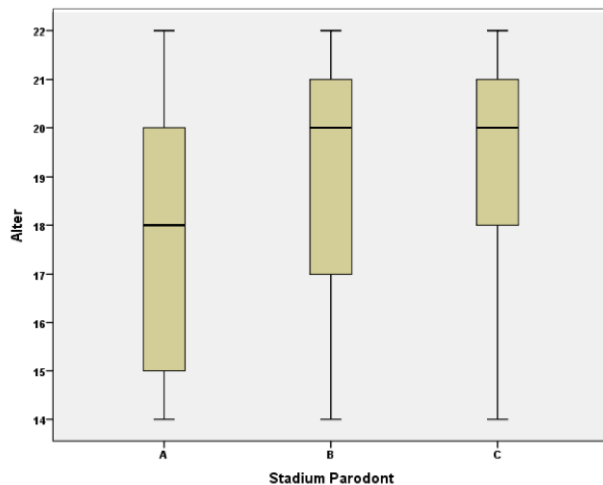


Abb. 37: Boxplot für Alter in Abhängigkeit von Parodontalspaltklassen für **m & w** (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

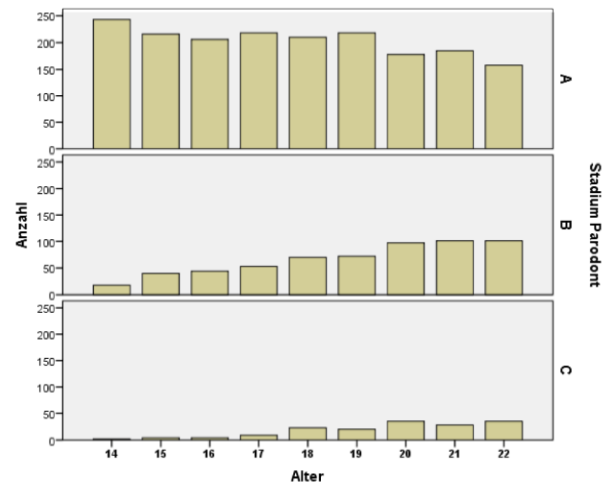


Abb. 38: Balkendiagramm für Alter in Abhängigkeit zu Parodontalspaltklassen für **m & w** (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

Abb. 38 verdeutlicht eine relativ gleichmässige aber geringere Abnahme der Fallzahlen mit zunehmendem Alter in Klasse A. Deutlicher ausgeprägt ist die Zunahme in Klasse B. Auf tieferem Fallzahlenniveau zeigt auch Klasse C eine Zunahme mit zunehmendem Alter, aber nicht so ausgeprägt wie Klasse B und auch nicht kontinuierlich.

4.2 Qualitative Auswertung

4.2.1 Qualitative Auswertung der Stadieneinteilung Studie

Der Korrelationskoeffizient nach Spearman zwischen Alter und Parodontalspaltstadien beträgt 0.320 ($P < 0.001$), was einer schwachen, aber hoch signifikanten positiven Korrelation entspricht. Es wurde mittels der Tests nach Kolmogorov-Smirnoff und Shapiro-Wilk überprüft, ob bei den erhaltenen Daten eine Normalverteilung vorliegt (siehe Kap. 3.4.1 *Statistische Methoden*, S. 34). Die Ergebnisse zeigen, dass keine Normalverteilung der Daten besteht. Deshalb wurde separat für beide Geschlechter eine vollständige Beschreibung (deskriptive Statistik) der Daten vorgenommen. Minima und Maxima, Quartile (25%;50%;75%), Mittelwerte, obere und untere Grenze der 95%-Konfidenzintervalle um den wahren Mittelwert sowie Standardabweichungen wurden berechnet und in den folgenden Tabellen 19 und 20 (siehe folgende Seiten 43 und 44) dargestellt.

Deskriptive Statistik zu Parodontalspaltstadien für das männliche Geschlecht											
Zahn	Stadium	Anzahl	Min	Max	LQ	Median	UQ	Mw	95%_U	95%_O	SD
36	0	170	14.0	22.9	15.4	17.1	19.9	17.6	17.3	18.0	2.6
	1a	151	14.0	22.7	16.2	17.9	19.8	18.1	17.7	18.4	2.4
	1b	76	14.2	22.9	17.4	19.9	21.2	19.3	18.8	19.9	2.5
	2a-	69	14.0	22.9	17.5	19.8	21.4	19.5	18.9	20.0	2.3
	2a+	81	14.6	22.9	18.7	20.6	21.7	20.0	19.5	20.5	2.2
	2b	39	16.3	22.9	19.1	20.3	21.5	20.2	19.6	20.7	1.8
	3	4	14.8	21.3	15.0	18.2	21.2	18.1	12.6	23.7	3.5
46	0	185	14.0	22.9	15.3	17.3	19.8	17.6	17.2	18.0	2.6
	1a	153	14.1	22.9	16.4	18.2	20.5	18.4	18.0	18.8	2.5
	1b	85	14.0	22.9	17.5	19.1	21.0	19.1	18.6	19.6	2.3
	2a-	71	14.0	22.7	17.4	19.2	20.7	19.1	18.5	19.6	2.3
	2a+	54	14.8	22.9	18.7	20.4	22.2	20.0	19.4	20.6	2.3
	2b	40	17.7	22.9	19.6	20.7	21.9	20.7	20.2	21.2	1.5
	3	5	15.4	21.3	18.1	21.0	21.2	19.9	16.8	23.0	2.5

Tabelle 19: Deskriptive Statistik zu den Parodontalspaltstadien pro Zahn (36,46) für m (Stadieneinteilung Studie)

Legende: Zahn 46 bezeichnet den ersten Molaren im Unterkiefer rechts, Zahn 36 denjenigen im Unterkiefer links. Stadium, Anzahl, Min= tiefstes Alter, Max= höchstes Alter, LQ= 25%-Perzentil, Median= 50%-Perzentil, UQ= 75%-Perzentil, Mw= Mittelwert, 95%_U= untere Grenze des 95%-Konfidenzintervalles des wahren Mittelwertes, 95%_O= obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalles des wahren Mittelwertes, SD= Standardabweichung.

Beim männlichen Geschlecht treten die Stadien 0, 1a, 1b, 2a-, 2a+ von 14.8 bis 22.7 Jahren auf, was einem Auftreten über praktisch den ganzen Untersuchungszeitraum bedeutet. Das Stadium 2b tritt ab 16.3 bis 22.9 Jahren auf. Die Werte zu Stadium 3 sind wegen der kleinen Fallzahl (9 Fälle) nicht aussagekräftig.

Deskriptive Statistik zu Parodontalspaltstadien für das weibliche Geschlecht											
Zahn	Stadium	Anzahl	Min	Max	LQ	Median	UQ	Mw	95%_U	95%_O	SD
36	0	226	14.0	22.8	15.5	17.4	19.7	17.8	17.4	18.1	2.5
	1a	195	14.0	22.9	16.2	18.5	20.6	18.4	18.0	18.8	2.5
	1b	76	14.7	22.9	17.8	19.9	21.6	19.6	19.0	20.1	2.3
	2a-	115	14.0	22.9	17.7	19.3	21.0	19.2	18.8	19.7	2.4
	2a+	55	14.1	22.9	18.4	20.3	21.6	19.8	19.3	20.4	2.2
	2b	30	14.6	22.8	18.3	20.3	22.1	20.1	19.3	20.9	2.2
	3	1	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	-	-	-
46	0	233	14.0	22.9	15.5	17.6	19.6	17.8	17.5	18.1	2.6
	1a	205	14.0	22.9	16.7	18.5	20.7	18.6	18.2	18.9	2.5
	1b	97	14.2	22.9	17.5	20.0	21.7	19.5	19.0	20.0	2.5
	2a-	78	14.2	22.9	17.1	19.7	21.3	19.3	18.7	19.8	2.4
	2a+	55	15.2	22.9	18.6	20.1	21.4	19.8	19.3	20.3	1.9
	2b	35	15.6	22.9	18.6	20.9	22.6	20.4	19.7	21.2	2.2
	3	4	18.3	19.5	18.4	18.9	19.4	18.9	18.0	19.7	0.5

Tabelle 20: Deskriptive Statistik zu den Parodontalspaltstadien pro Zahn (36,46) für w (Stadieneinteilung Studie)

Legende: Zahn 46 bezeichnet den ersten Molaren im Unterkiefer rechts, Zahn 36 denjenigen im Unterkiefer links. Stadium, Anzahl, Min= tiefstes Alter, Max= höchstes Alter, LQ= 25%-Perzentil, Median= 50%-Perzentil, UQ= 75%-Perzentil, Mw= Mittelwert, 95%_U= untere Grenze des 95%-Konfidenzintervalles des wahren Mittelwertes, 95%_O= obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalles des wahren Mittelwertes, SD= Standardabweichung.

Auch beim weiblichen Geschlecht können praktisch über den gesamten Altersbereich (14.6 bis 22.8 Jahre) alle Stadien 0, 1a, 1b, 2a-, 2a+ und 2b gefunden werden. Die Werte zu Stadium 3 sind wegen der kleinen Fallzahl (4 Fälle) wiederum nicht aussagekräftig.

Die Resultate lassen folgendes Fazit zu: Die Stadien 0 bis 2b treten beim weiblichen Geschlecht mehr oder weniger über die gesamte untersuchte Altersspanne auf. Die Mittelwerte steigen mit zunehmendem Stadium beim männlichen Geschlecht kontinuierlich, beim weiblichen weitgehend kontinuierlich an. Die Mittelwerte sind bei der männlichen Gruppe fast immer minim tiefer als bei der weiblichen.

Logistische Regressionsanalyse (Stadieneinteilung Studie)

Das Datenmaterial wurde zusätzlich zur deskriptiven Statistik auch mit Hilfe der **logistischen Regressionsanalyse** ausgewertet. Es lassen sich damit die Mittelwerte und Standardabweichungen der pro Alter vorhergesagten Wahrscheinlichkeiten der **Stadien 0 bis 3 berechnen**. Die errechneten Werte werden in Tabelle 21 (siehe folgende Seite 45) für männlich und weiblich separat gezeigt.

			Alter								
Stad		Mw	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	m	%	50.9	45.9	40.5	34.4	29.2	24.5	20.6	16.9	13.7
		SD	4.1	1.6	2.6	1.6	1.7	1.4	1.3	0.9	1.3
	w	%	52.4	47.2	41.7	36.8	32.5	28.3	24.1	20.4	17.2
		SD	1.6	1.6	2.1	2.5	1.4	1.6	1.1	1.1	0.9
1a	m	%	32.7	31.1	29.4	27.4	25.7	24.0	22.5	21.0	19.5
		SD	1.4	0.5	0.8	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.6
	w	%	32.1	31.2	30.2	29.4	28.6	27.8	26.9	26.1	25.2
		SD	0.3	0.3	0.4	0.5	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
1b	m	%	9.5	10.2	11.0	12.1	13.2	14.3	15.5	16.8	18.2
		SD	0.7	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
	w	%	6.7	7.7	8.9	10.1	11.4	12.9	14.8	16.8	19.0
		SD	0.3	0.3	0.5	0.9	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6
2a-	m	%	7.8	8.5	9.3	10.3	11.4	12.5	13.7	15.0	16.5
		SD	0.7	0.2	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6
	w	%	9.1	10.0	11.0	12.1	13.1	14.4	15.8	17.3	18.9
		SD	0.3	0.3	0.4	0.7	0.4	0.6	0.4	0.4	0.5
2a+	m	%	3.8	4.6	5.8	7.5	9.6	12.1	14.9	18.5	23.1
		SD	1.3	0.3	0.5	0.5	0.8	0.9	1.0	1.1	1.7
	w	%	3.1	3.8	4.7	5.7	6.8	8.1	9.8	11.9	14.3
		SD	0.2	0.2	0.4	0.9	0.4	0.7	0.5	0.6	0.7
2b	m	%	1.4	1.8	2.5	3.5	4.9	6.7	8.9	12.1	16.5
		SD	0.8	0.2	0.3	0.3	0.6	0.7	0.9	1.0	1.6
	w	%	1.2	1.5	2.1	2.8	3.5	4.6	6.0	7.9	10.4
		SD	0.1	0.1	0.3	0.7	0.3	0.6	0.4	0.6	0.7
3	m	%	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0
		SD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	w	%	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
		SD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabelle 21: Mittelwert (Mw) der vorhergesagten Wahrscheinlichkeit für Parodontalspaltstadien pro Alter für **männlich und weiblich** (Stadieneinteilung Studie). Stad=Stadium; SD=Standardabweichung

Wie in der deskriptiven Statistik gezeigt (siehe Tabellen 19 und 20, S. 43 - 44), bestätigen die erhaltenen Daten die Schwierigkeit, anhand eines Stadiums ein bestimmtes Alter abgrenzen zu können. So kann zwar bei über 80% der Untersuchten 14-Jährigen ein durchgehender

Parodontalspalt um beide Apices festgestellt werden (Stadien 0 und 1a), diesen Befund finden wir aber auch bei weit über 50% der untersuchten 18-Jährigen.

In den Abbildungen 39 bis 45 sind die Daten der logistischen Regression aus Tabelle 21 mit Hilfe von Boxplots visualisiert. Für eine übersichtliche und einheitliche Darstellung wurde in allen Graphiken die Obergrenze der Y-Achsen auf 60% gesetzt.

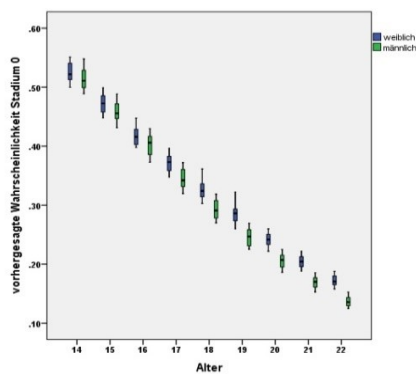


Abb. 39: Wahrscheinlichkeiten von Stadium 0 in Abhängigkeit zum Alter für **m & w**

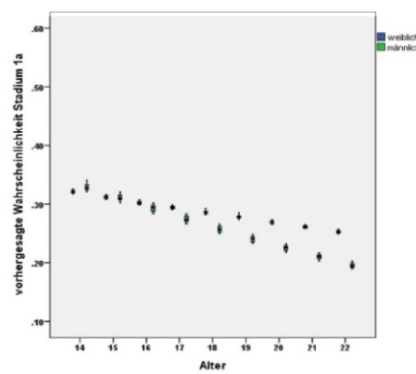


Abb. 40: Wahrscheinlichkeiten von Stadium 1a in Abhängigkeit zum Alter für **m & w**

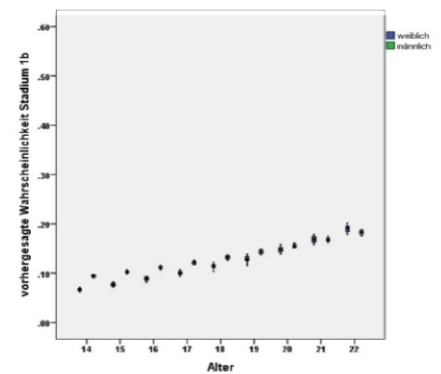


Abb. 41: Wahrscheinlichkeiten von Stadium 1b in Abhängigkeit zum Alter für **m & w**

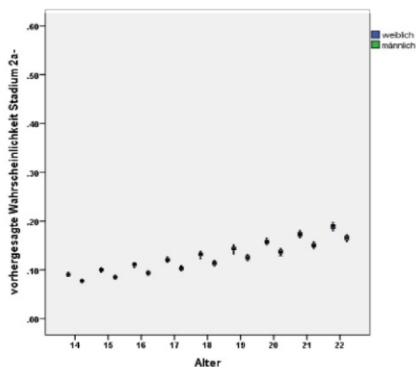


Abb. 42: Wahrscheinlichkeiten von Stadium 2a- in Abhängigkeit zum Alter für **m & w**

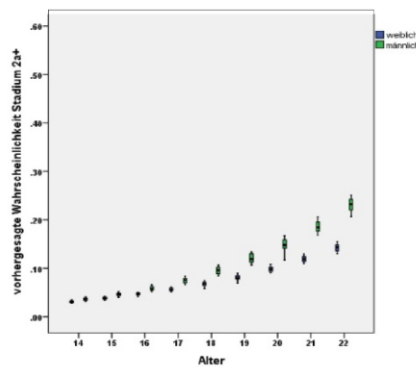


Abb. 43: Wahrscheinlichkeiten von Stadium 2a+ in Abhängigkeit zum Alter für **m & w**

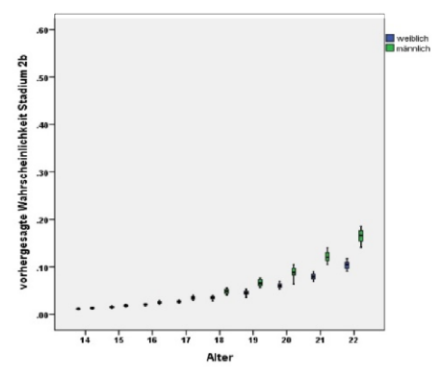


Abb. 44: Wahrscheinlichkeiten von Stadium 2b in Abhängigkeit zum Alter für **m & w**

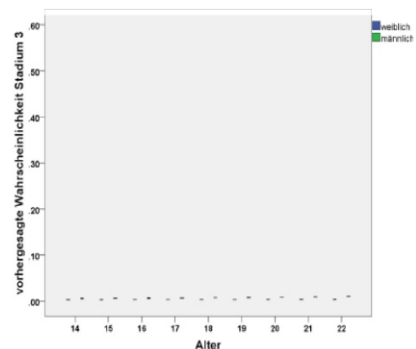


Abb. 45: Wahrscheinlichkeiten von Stadium 3 in Abhängigkeit zum Alter für **m & w**

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von den Stadien 0 und 1a nimmt zwischen 14 und 22 Jahren ab. Die übrigen Stadien mit mindestens einem nicht durchgehend sichtbaren Apex zeigen zunehmend höhere Werte mit steigendem Alter. Stadium 3 lässt wegen den kleinen Fallzahlen keine zuverlässigen Aussagen zu.

4.2.2 Qualitative Auswertung der Zusammenfassenden Stadieneinteilung

Da die qualitative Auswertung der Zusammenfassenden Stadieneinteilung keine wesentlichen zusätzlichen Informationen ergab, sind die entsprechende Tabellen und Texte im Anhang in Kap. 8.2.2 *Qualitative Auswertung zur Zusammenfassenden Stadieneinteilung* (S. 78 - 81) aufgeführt.

Klassenunterschied rechts/links (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

Auf 1'155 OPT's (2'310 Zähne) konnten beidseits untere erste Molaren (Zähne 46 und 36) beurteilt und einer Klasse zugeordnet werden. Der Mittelwert der Differenz von Zahn 46 zu 36 betrug 0.1550 Klassen bei einer Standardabweichung von 0.6390 Klassen.

Tabelle 22 zeigt die Häufigkeit (OPT's) der **Klassen-Paarungen** 46 und 36 für m & w. Zur Verdeutlichung wurden korrespondierende Zahlenwerte in den beiden nachstehenden Tabellen farbcodiert.

	Klasse46			Gesamt
	A	B	C	
A	683	188	29	900
Klasse36 B	64	101	43	208
C	21	4	22	47
Gesamt	768	293	94	1'155

Tabelle 22: Kreuztabelle zu den Klassen-Paarungen der Zähne 46 und 36 für m & w (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

Tabelle 23 zeigt die Häufigkeit und den prozentualen Anteil der verschiedenen Klassen-Paarungen von 46 und 36 für m & w.

Abweichungsbereich in Klassen (Zahn 46 zu 36)	Häufigkeit (N)	Prozent
-2.00	21	1.8%
-1.00	68	5.9%
.00	806	69.7%
1.00	231	20.0%
2.00	29	2.6%
Gesamt	1'155	100%

Tabelle 23: Häufigkeit und prozentualer Anteil der Klassen-Paarungen von 46 zu 36 für m & w

(Zusammenfassende Stadieneinteilung)

In den meisten Fällen (69.7%) wurde eine Übereinstimmung der Klassen von 46 und 36 gefunden. In 20% der Fälle wies Zahn 46 eine Klasse höher auf. Wie Tabelle 42 (siehe Kap. 8.2.3 *Seitenvergleich von Parodontalspaltklassen von 46 und 36*, S. 81) zeigt, sind die festgestellten re/li Abweichungen statistisch signifikant.

5 Diskussion

Die Diskussion orientiert sich an den Empfehlungen der AGFAD für forensische Altersdiagnostik, die für wissenschaftliche Arbeiten folgende Kriterien aufstellt (AGFAD 2008 [114]).

- Wahl einer adäquaten Stichprobengrösse
- Gesicherte Altersangaben der Probanden
- Gleichmässige Altersverteilung
- Geschlechtertrennung
- Angabe des Untersuchungszeitpunktes
- Klare Definition der untersuchten Merkmale
- Genaue Beschreibung der Methodik
- Angaben zur Referenzpopulation hinsichtlich genetisch-geographischer Herkunft
- Angaben von Gruppengrössen, Mittelwert und Streuungsmass

Daten aus AGFAD (2008 [114])

Der Datensatz wurde quantitativ und qualitativ sowie mit Hilfe der logistischen Regression statistisch ausgewertet. Mit der logistischen Regression kann bei einem bestimmten Alter ermittelt werden, wie wahrscheinlich ein bestimmtes Stadium auftritt. Pro Altersjahr wurde auf eine zahlenmässig gleichmässige Verteilung der direkt-digital erstellten Panoramaschichtaufnahmen (± 150 OPT's pro Altersjahr) geachtet. Minimal wurden 139 und maximal 175 OPT's pro Altersjahr ausgewertet. Die Analyse wurde gesamthaft wie auch geschlechtergetrennt durchgeführt. Zuverlässige Angaben zur Ethnie der Untersuchten sind wegen fehlenden Angaben in der Krankengeschichte retrospektiv nicht möglich. Da die überwiegende Mehrheit der Patienten am ZZM UZH kaukasischen Ursprungs ist, dürfte dies auch für die untersuchte Population gelten. Die Altersangaben wurden anhand des Geburts-, sowie des Aufnahmedatums aus der Datenbank des Zentrums ermittelt und dürfen als glaubhaft beurteilt werden. Zur Überprüfung der Plausibilität der Stadieneinteilung des Parodontalspaltes nach Olze et al. (2010 [2]) wurden Testreihen durchgeführt. Diese führten zu einer modifizierten Stadieneinteilung und erlaubten den Zwischenbeobachterfehler zu reduzieren.

5.1 Stichprobengrösse

In dieser Arbeit wurden 1'429 direkt-digital erstellte Panoramaschichtaufnahmen von 14- bis 22-jährigen Individuen untersucht. 671 (46.9%) Aufnahmen stammten von männlichen und 758 (53.1%) von weiblichen Personen. Die untersuchte Kohorte umfasste eine Fallzahl von insgesamt 2'588 Zähnen (linke und rechte untere erste Molaren). 1'183 (45.7%) untere erste Molaren stammten von männlichen und 1'405 (54.3%) von weiblichen Personen.

Die Anzahl ausgewerteter OPT's wurde verglichen mit Arbeiten, die sich mit Altersdiagnostik anhand dritter Molaren befassten. Der Median der Stichprobengrößen von 17 zufällig ausgewählten Studien mit einem ähnlichen Altersspektrum beträgt 1'053 (Haavikko 1970 [115], Levesque et al. 1981 [116], Thorson et al. 1991 [117], Kullman et al. 1992 [118], Mincer et al. 1993 [7], Köhler et al. 1994 [119], Willershausen et al. 2001 [120], Olze et al. 2001 [121], Mesotten et al. 2002 [122], Gunst et al. 2003 [8], Da Silva et al. 2004 [123], Pietro et al. 2005 [124], Friedrich et al. 2005 [125], Ruhstaller 2006 [17], Meinl et al. 2007 [126]), Olze et al. 2008 [127], Scheurer et al. 2011 [128]). Die vorliegende Arbeit weist mit 1429 ausgewerteten OPT's vergleichsweise eine hohe Fallzahl aus. Die einzige uns bekannte quantitativ vergleichbare Arbeit, die sich in der Altersdiagnostik mit der Sichtbarkeit des Parodontalspaltes im OPT beschäftigte (allerdings bei den Weisheitszähnen), war die Arbeit von Olze et al. (2010 [2]), die insgesamt 1198 Fälle umfasste. Im Altersspektrum der 15- bis 22-Jährigen waren es dann aber „nur“ 382 untersuchte Panoramaröntgenbilder, d.h. gut ein Viertel der Kohorte der vorliegenden Studie.

5.2 Altersverteilung

Für diese Untersuchung interessierte insbesondere das 18. Altersjahr, weshalb ein Altersspektrum von 14 - 22 Jahren gewählt wurde. Die Vollendung des 18. Lebensjahres stellt den Übergang zur Mündigkeit und dem Erwachsenenstrafrecht dar (ZGB Art. 14 [129], JStG Art. 1 [5]). Das Alter von 14 Jahren als untere Begrenzung der untersuchten Kohorte wurde festgelegt, da in diesem Alter das Wurzelwachstum des ersten unteren Molaren sicher abgeschlossen ist (siehe Kap. 5.4 *Wahl des zu untersuchenden Zahnes*, S. 53). Um eine gleichmässige Verteilung der Daten um das 18. Altersjahr zu erreichen, wurde die obere Altersbegrenzung auf 22 Jahre festgelegt. Das Altersspektrum von 14 - 22 Jahren entspricht dem Mittelwert der Spektren der in Kap. 5.1 *Stichprobengrösse* (siehe S. 49 - 50) aufgeführten 17 Studien zur Altersdiagnostik anhand OPT's, welcher 13.4 – 23.5 Jahre beträgt.

5.3 Wahl des radiologischen Verfahrens

Die zwischen 2004 und 2012 direkt-digitalen Panoramaschichtaufnahmen wurden in verschiedenen Kliniken am Zentrum für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde (ZZM) der Universität Zürich aufgenommen. Für die Aufnahme dieser Orthopantomogramme wurde das finnische Produkt Soredex® Cranex Excel D, Modell SL-4/PT-11 (Soredex® [100]) verwendet.

Die Wahl den Parodontalspalt auf (digitalen) OPT's zu untersuchen erfolgte aus folgenden Gründen:

- Im untersuchten Altersspektrum in genügender Zahl vorhanden
- Weitgehend einheitlicher Strahlengang, damit Vergleich mit anderen Arbeiten möglich (v.a. mit der Arbeit von Olze et al. (2010 [2]))
- Von der AGFAD für die Altersdiagnostik empfohlen (Schmeling 2011 [37])

Die digitale Radiographie erlaubt das Suchen nach idealen Parametern zur Darstellung der zu untersuchenden Strukturen. Dank graphischen Filterungsmöglichkeiten können die Aufnahmen in Bezug auf Helligkeit, Kontrast und Schärfe einander ähnlich gesetzt werden.

Gegenüber dem analogen, weist das digitale Verfahren folgende Vorteile auf:

- Vereinfachte Logistik bei direkt-digitalen Systemen. Der Transport des Röntgenfilms zur Entwicklungseinheit entfällt und die radiologische Aufnahme kann im Computer gespeichert werden
- Die gleichen Speicherfolien können über Jahre für unbeschränkt viele Aufnahmen verwendet werden.
- Es werden keine Chemikalien und kein Dunkelraum zur Entwicklung des Films benötigt
- Zur besseren Darstellung können graphische Filter eingesetzt werden
- Die an sich schon geringe Strahlenbelastung der Patienten wird weiter reduziert

Bildqualität

Die digitale Technik ist der analogen bezüglich der Bildqualität zumindest ebenbürtig. Es ist damit zu rechnen, dass sich bei neueren digitalen OPT-Systemen die Bildqualität noch weiter verbessern und die konventionelle Technik aus dem Markt verdrängen wird.

Die Möglichkeit zur graphischen Filterung und Bearbeitung bei digitalen Systemen erscheint als grosser Vorteil gegenüber der analogen Technik. Jedoch können durch ungeübte Anwender eine schlechtere Bildqualität oder falsche Befunde resultieren (Bush et Faulkner 2005 [130], Williams et al. 2007 [131]). Die genannten Autoren beschreiben in ihren Arbeiten bei digitalen Systemen eine bessere Effizienz der Detektion von Röntgenstrahlen, was neben einer kleineren Strahlenbelastung auch in einer grösseren Dynamik in der Bildgebung resultiert. Je nach medizinischer Fragestellung kann der sachkundige Anwender mit einem digitalen System eine auf anatomische Strukturen optimierte radiologische Aufnahme erreichen. In untenstehender Abb. 46 (siehe folgende Seite 52) sind 4 Möglichkeiten zur graphischen Filterung in digitalen OPT's dargestellt. Das Bild links oben ist eine ungefilterte Darstellung eines OPT's und im Bild rechts oben wurde der Parameter Helligkeit verändert. Im OPT unten links sieht man die Darstellung bei verändertem Kontrast und unten rechts wurde bei einem Ausschnitt des OPT's mittels eines graphischen Filters eine invertierte Darstellung erreicht (helle Strukturen werden dunkel dargestellt und umgekehrt).

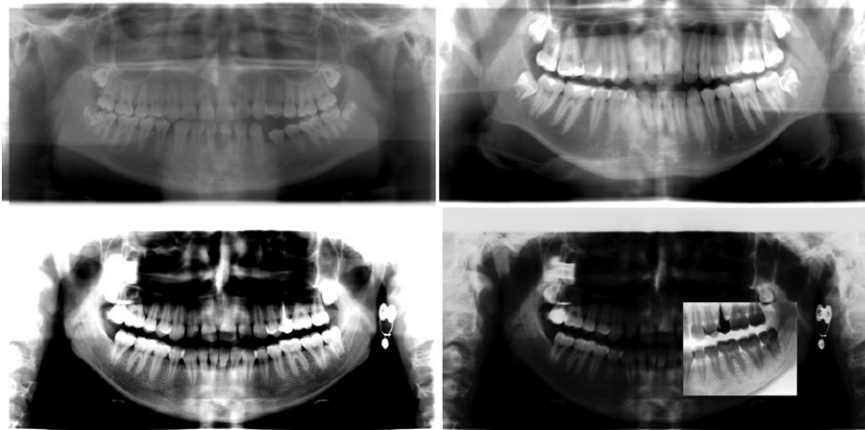


Abb.46 Graphische digitale Filterungen bei OPT's (mit freundlicher Genehmigung, ZZM UZH 2004-2012 [132]). Oben links: ungefiltertes OPT. Oben rechts: digital veränderte Helligkeit. Unten links: digital veränderter Kontrast. Unten rechts: invertierte Darstellung eines OPT-Ausschnittes.

Als Konsequenz sollten gutachterliche und wissenschaftliche AD-Untersuchungen in Zukunft nur noch anhand digitaler Röntgenbilder erfolgen.

Strahlenbelastung

Die Strahlenbelastung einer Panoramaschichtaufnahme ist im Verhältnis zu dem in der Schweiz erlaubten jährlichen Maximalwert von 1mSv ($=1'000\mu\text{Sv}$; StSV Art. 28 [26]) sehr gering. Eine Übersicht zu den in den verschiedenen Studien ermittelten effektiven Dosen zeigt Tabelle 24:

Effektive Dosen (μSv) von analogen und digitalen OPT-Geräten			
Studie	Analog (μSv)	Digital (μSv)	Differenz
Ludlow et al. (2003 [133])		22	
Lambrecht et al. (2004 [64])	54	45	
Gijbels et al. (2005 [92]) (Studie zu 5 digitalen OPT-Geräten)		Mittelwert 9.1 Median 8.1	
Roth (2006 [88])	65		
Silva et al. (2008 [93])	5.2	2.7	
Studien aus Silva et al. (2008 [93]) (Studien zu 12 analogen OPT-Geräten)	Mittelwert 20.4 Median 19.1		
Mittelwert (mit Resultaten aller einzeln getesteten Geräte berechnet)	24.6	14.4	- 41.5%
Median (mit Resultaten aller einzeln getesteten Geräte berechnet)	20	10.2	- 49%

Tabelle 24: Daten aus Lambrecht et al. (2004 [64]), Gijbels et al. (2005 [92]), Roth (2006 [88]) und Silva et al. (2008 [93]).

Beim digitalen Verfahren kann eine Dosisreduktion im Mittel von ca. 45% erreicht werden (Mittel des Medians und des Mittelwerts aller aufgeführten Studien). Das Strahlenrisiko ist aber bei analog wie digital aufgenommenen Panoramaröntgenbildern in den Alltag umgesetzt sehr gering, wie Meier et al. (2015 [134]) und nachfolgende Zahlen des BfS (2003 [135]) zeigen.

Die Strahlenbelastung bei der Aufnahme eines OPT's kann auch in Relation gesetzt werden zu einer Flugreise (Tabelle 25). Das Ausmass der Belastung ist abhängig von der Flughöhe, der Dauer des Fluges, der Route und der geographischen Lage. In 11 Kilometer Höhe in Region der Südspitze von Grönland beträgt die effektive Dosis pro Stunde ca. 6 - 7 μSv (Stand Dez. 2002). Ein Flug von Frankfurt nach New York mit etwa 8 Stunden auf Reiseflughöhe ergibt eine Strahlenbelastung von ca. 50 μSv . Im äquatorialen Bereich beträgt die Dosis ca. ein Drittel davon (BfS 2003 [135]). Anhand der Tabelle 24 ist ersichtlich, dass der Flugpassagier und Flugpersonal beim Transatlantikflug von Frankfurt nach San Francisco der doppelten Strahlenmenge eines analogen oder über der dreifachen eines digitalen OPT's ausgesetzt ist.

Effektive Dosis der Höhenstrahlung auf ausgewählten Routen		
Abflug	Ankunft	Dosisbereich μSv^*
Frankfurt	Gran Canaria	10 - 18
Frankfurt	Johannesburg	18 - 30
Frankfurt	New York	32 - 75
Frankfurt	Rio de Janeiro	17 - 28
Frankfurt	Rom	3 - 6
Frankfurt	San Francisco	45 - 110
Frankfurt	Singapur	28 - 50

*Schwankungen je nach Einfluss von Sonnenzyklus und Flughöhe

Tabelle 25: Daten aus BfS (2003 [135])

5.4 Wahl des zu untersuchenden Zahnes

7

Olze et al. (2010 [2]) untersuchten dritte Molaren des Unterkiefers. Konsequenterweise wurden deshalb auch für diese Arbeit Molaren gewählt. Es wurde postuliert, dass damit ein Vergleich mit den Daten von Olze et al. am ehesten gewährleistet sein würde.

Oberkiefermolaren kamen aus folgenden Gründen per se nicht in Frage.

Laut Friedrich et al. (2003 [136]) ist eine Beurteilung der Wurzelanatomie im Oberkiefer in doppelt so vielen Fällen nicht möglich wie im Unterkiefer.

Im Vordergrund stehen dafür zwei Gründe:

- Überlagerung der Wurzeln mit nicht-zahnärztlichen anatomischen Strukturen.

- Die palatinale, der normalerweise drei Wurzeln von Oberkiefermolaren liegt nicht in der gleichen röntgenologischen Ebene wie die beiden bukkalen, weshalb der Parodontalspalt im OPT zumindest einer Wurzel kaum oder nur schlecht sichtbar ist.

Dritte Molaren im Unterkiefer, wie sie von Olze et al. (2010 [2]) für die Parodontalspaltuntersuchung gewählt wurden, kamen aus verschiedenen Gründen für diese Studie nicht in Frage. Prinzipiell ist angesichts der grossen morphologischen Variabilität des Weisheitszahnes keine einheitliche Beurteilung möglich. Topkara und Sari (2013 [137]) fanden retinierte untere dritte Molaren in gut 50% der untersuchten Fälle (152 von 300). Davon waren 61% partiell retiniert, 39% voll retiniert. Hugoson und Kugelberg (1988 [138]) fanden in ihrer Untersuchung in mindestens 80% der Fälle einen retinierten dritten Molaren pro Gebiss. Auf Grund der häufigen Verlagerung des **unteren** dritten Molaren kommt es regelmässig zu Überlagerungen von Teilen des Parodonts mit das Resultat verfälschenden Strukturen (Canalis mandibulae, linea obliqua interna, Wurzel des zweiten Molaren, insbesondere distal geneigte Weisheitszähne etc.). In diesen Fällen ist eine seriöse Altersdiagnostik mit Hilfe des Parodontalspaltes nicht gegeben. Schliesslich ist das Wurzelwachstum dieses Zahnes mit 18 Jahren in der Regel noch nicht abgeschlossen (Mincer et al. 1993 [7], Olze et al. 2004 [9], Pietro et al. 2005 [124], Knell et al. 2006 [19]). Damit ist eine Beurteilung der in der Schweiz wichtigen Altersgrenzen 15, 16 und 18 Jahren von vornherein ausgeschlossen.

Aus folgenden Gründen erweist sich auch der **zweite Molar** im Unterkiefer für die Altersdiagnostik mit Hilfe des Parodontalspaltes als ungeeignet:

- Aus nachvollziehbaren Gründen können nur Zähne mit vollständigem Wurzelwachstum in die Studie einbezogen werden. Dies ist bei unteren zweiten Molaren mit 16 Jahren in 29%, bei 17 Jahren in 3.9% noch nicht der Fall (Dissertation Hofstetter in Vorbereitung), weshalb diese a priori aus der Studie fallen. Wie die jährlichen Ringversuche der AGFAD (2012 [12]) zudem zeigen, ist die Abgrenzung der Demirjian Stadien G (Wurzelwachstum kurz vor dem Abschluss) und H (abgeschlossenes Wurzelwachstum, Demirjian 1973 [6]) nicht immer eindeutig möglich, womit eine zusätzliche Fehlerquelle möglich ist.
- Wie bei den Weisheitszähnen ist auch bei den zweiten Molaren der Parodontalspalt wegen einer Überlagerung mit der linea obliqua interna (Pasler 2003 [50]) häufig schlechter beurteilbar als beim ersten Molaren (De Angelis et al. 2014 [49]).
- Eine Überlagerung der parodontalen Strukturen mit Anteilen eines verlagerten Weisheitszahnes.
- Schliesslich zeigt die zahnärztliche Erfahrung, dass die Zahnachse des zweiten Molaren im OPT häufig nicht orthograd getroffen wird und es zu Doppelstrukturen kommt.

Am deutlichsten bilden sich auf dem OPT die **ersten Molaren** des Unterkiefers ab. Sie haben eine geringe Variabilität in Bezug auf ihre Morphologie und eine relativ grosse Konstanz was die Eruption in die Mundhöhle betrifft. Auch wenn die oben beschriebenen Doppelstrukturen auch teilweise bei der mesialen Wurzel des ersten Molaren beobachtet werden können, sind diese doch sehr viel weniger häufig vorhanden als bei den zweiten und dritten Molaren. Wie verschiedene Autoren festgestellt haben, ist die Zahnbildung des ersten Molaren mit 14 Jahren mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit abgeschlossen (Haavikko 1970 [115], Liversidge et al. 2006 [139]). Ein weiterer wesentlicher Grund für die Wahl des ersten unteren Molaren war die Tatsache, dass bei diesem Zahn für die in der Schweiz juristisch bedeutenden Altersgrenzen am ehesten relevante chronologisch-biologische Veränderungen erwartet werden durften.

5.5 Ethnie der untersuchten Kohorte

Die überwiegende Mehrheit der untersuchten OPT's kann der kaukasischen Ethnie zugeordnet werden auch wenn in der medizinischen digitalen Datenbank am ZSM UZH die ethnische Herkunft der Patienten nicht erfasst wurde, sondern nur deren Nationalität. In der Dissertation von Ruhstaller (2006 [17]) wurden 1'260 analoge OPT's des gleichen Instituts verwendet. 1'137 (90.2%) OPT's stammten von schweizerischen Probanden und der Anteil an OPT's von Patienten mit Herkunft aus anderen europäischen Ländern betrug 123 (9.8%). Mit der zunehmenden Migration und Einwanderung ist anzunehmen, dass der Anteil der Daten von Ausländern in der vorliegenden Arbeit höher ist. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Arbeit von Ruhstaller 2006 betrug in der Schweiz der Ausländeranteil 1'655'300 Personen (BFS 2006 [140]). Im Jahre 2013 waren es 1'937'400 Personen (BFS 2014 [141]), was einer Zunahme von 17% entspricht. Die Daten von Ruhstaller zeigen aber auch, dass die grosse Mehrheit der Ausländer ebenfalls kaukasischen Ursprungs ist.

5.6 Testreihen

Zwischenbeobachterfehler

Es wurden 4 Testreihen mit 3 Untersuchern durchgeführt mit den Zielen:

- Feststellung eines Zwischenbeobachterfehlers (Tabelle 26)
- Evaluation potentiell anwendbarer Parodontalspaltstadien
- Definition der in der Hauptstudie verwendbaren Stadien
- Definition der Bildparameter zur OPT-Darstellung am Computerbildschirm

Die Testreihen zeigten, dass die Zuordnung eines untersuchten Zahnes zu einem Parodontalspaltstadium anspruchsvoll ist. Trotz vorgängiger Eichung der Untersucher traten in den Testreihen z.T. erhebliche Abweichungen bei den Zuordnungen auf (siehe dazu auch die Arbeit von De Angelis et al. 2014 [49]). Mit mehreren Stadien zusammenfassenden Einteilungen wurde die Zahl

der möglichen Fehler bei der Zuordnung reduziert. In der 1., 2. und 3. Testreihe wurden untere erste und zweite Molaren untersucht. In der 4. Testreihe waren nur noch die unteren ersten Molaren Bestandteil der Untersuchung. In Tabelle 26 sind die Auswertungen der Testreihen tabellarisch zusammengestellt.

Übereinstimmung der Untersucher (Us) in den Testreihen						
	Anzahl OPT's (Zähne)	Übereinst. von 3 Us. (gemittelt)	Anteil der Abweichung von nur 1 Stadium zwischen Us.	Übereinst. von 2 Us. mit 2/3 Mehrheit	Bias (2 Us.)	Kappa- Wert (2 Us.)
1. Testreihe	20 (N=74)	49%	85%	-	-	-
2. Testreihe	20 (N=58)	42%	68%	-	-	-
3. Testreihe	20 (N=59)	39%	60% (64% für 2 Us.)	67%	-0.051	0.697
4. Testreihe	106 (N=191)	-	- (63% für 2 Us)	45%	0.288	0.403

Tabelle 26: Übereinstimmung in den Testreihen

Us: Untersucher

Anhand obiger Tabelle 26 kann errechnet werden, dass in den Testreihen bei 3 Untersuchern eine mittlere Übereinstimmung erreicht worden ist in 43.3% und für 2 Untersucher in 56%. Der Anteil von nur einem Stadium Differenz in allen Abweichungen für 3 Untersucher im Mittel 71% und für 2 Untersucher 63.5%. Dies widerspiegelt die Schwierigkeit der einheitlichen Abgrenzung von Stadien durch verschiedene Untersucher. Diese Problematik wird durch die Zusammenfassende Stadieneinteilung abgeschwächt.

Kieferorthopädie (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

Auf 1'155 OPT's konnten in 474 Fällen (41%) festsitzend kieferorthopädische Therapien (KO) nachgewiesen werden. Es kann allerdings nicht mit Sicherheit gesagt werden, dass alle KO-Fälle erkannt und erfasst wurden. Ein möglicher Einfluss orthodontischer Behandlungen auf die radiologische Sichtbarkeit des Parodontalspaltes unterer erster Molaren wurde in den Klassen A - C überprüft. Es konnte ein sehr schwacher, aber signifikanter ($P < 0.001$) Einfluss in allen Altersgruppen festgestellt werden. Die Werte bei der kieferorthopädischen Gruppe liegen bei Zahn 36 um 0.089, bei Zahn 46 um 0.274 Klassen tiefer. Statistisch konnte zudem eine geringgradig häufigere Übereinstimmung der Klassen zwischen 36 und 46 nachgewiesen werden, wenn kieferorthopädische Behandlungen vorlagen. Die Abweichungen der Werte von den Fällen mit KO verglichen mit denjenigen ohne KO, sind so gering, dass keine nennenswerte Beeinflussung der Gesamtdaten vorliegt. Andere Parameter weisen einen wesentlich grösseren Einfluss auf (Stadieneinteilung, Qualität der Röntgenaufnahmen, statistisches Vorgehen, Zwischenbeobachterfehler, etc.)

Weitere tabellarische Informationen zum Einfluss der Kieferorthopädie auf die radiologische Sichtbarkeit des Parodontalspaltes finden sich im Anhang in Kap. 8.2.4 (*Einfluss von kieferorthopädischen Massnahmen*, S. 82 - 83).

5.7 Stadieneinteilung des Parodontalspaltes

Die Breite des Parodontalspaltes ist laut Literatur von verschiedenen Faktoren abhängig. Stark belastete Zähne weisen einen breiteren Parodontalspalt auf (**Coolidge** 1937 [99], **Kronfeld** 1931 [142], **Klein** 1928 [143], **Preissecker** 1931 [144]). Diese Autoren konnten zudem nachweisen, dass die Messwerte in mittlerer Höhe der Zahnwurzel fast immer am kleinsten ausfielen. Konsequenterweise konnten sie feststellen, dass Zähne ohne Antagonisten (Zähne ohne Gegenzahn, damit ohne Kaubelastung) eine schmalere parodontale Membran besitzen.

Da in der vorliegenden Arbeit ein jugendliches Patientengut untersucht wurde, stellten unsere erste Molaren ohne einen Antagonisten die absolute Ausnahme dar und wurden nicht gesondert untersucht. In dieser retrospektiv durchgeführten Untersuchung anhand von OPT's konnten keine zuverlässigen Informationen über die Kaukräfte, respektive okklusale Parafunktionen erhoben werden. Die unterschiedliche Verteilung der Anzahl Fälle auf die verschiedenen Parodontalspaltstadien, resp. Klassen dürfte aber massgeblicher durch das im Vergleich zu anderen Studien tiefere Maximalalter beeinflusst worden sein, als durch die oben erwähnten Einflüsse.

Ein Zusammenhang zwischen der Breite des Parodontalspaltes und dem chronologischen Alter wird in der Literatur nicht einheitlich beurteilt. **Klein** (1928 [143]) und **Jozat** (1933 [145]) beobachteten mit zunehmendem Alter eine leichte Zunahme der Dicke der parodontalen Membran. Die Mehrzahl der Autoren stellten aber eine Abnahme der Breite des Parodontalspaltes mit zunehmendem Alter fest (**Black** 1887 [146], **Noyes und Thomas** 1921 [147], **Lenhossek** 1922 [148], **Bodecker** 1926 [149]), Sie führten dies auf die Zementapposition bei der Wurzel, der Knochenapposition in der Alveole oder einer Verkalkung des parodontalen Fasergeflechts zurück. Die erwähnte Abhängigkeit der Breite des Parodontalspaltes vom untersuchten Wurzelabschnitt lässt den Verdacht zu, dass zumindest die radiologisch seitlich nicht mehr sichtbaren Zahnhalteapparatabschnitte nicht mit dem Alter korreliert sind, sondern mindestens ebenso wahrscheinlich ein röntgenologisches Artefakt darstellen können. Die Klasseneinteilung A, B & C, bei der die Sichtbarkeit des Parodontalspaltes am Apex das zentrale Unterscheidungsmerkmal darstellt, berücksichtigt diese Tatsache, ohne dass sie aber zu aussagekräftigeren Ergebnissen geführt hat.

Mit Testreihen wurde die Stadieneinteilung des Parodontalspaltes nach Olze et al. (2010 [2]) überprüft und modifiziert. Ihre Stadien 1 & 2 wurden neu in 5 Stadien unterteilt und diese definiert. Die Stadien 0 und 3 wurden unverändert übernommen. Zur besseren Verständlichkeit und Lesbarkeit dieses Kapitels wird die gewählte Stadieneinteilung (siehe S. 58, Tabelle 13) noch einmal gezeigt.

Alle Stadien zur radiologischen Sichtbarkeit des Parodontalspalt	
Stadium	Definition
0	Parodontalspalt komplett sichtbar
1a	Parodontalspalt bei einer Wurzel zum Teil nicht sichtbar, Spalt um beide Apices sichtbar
1b	Parodontalspalt bei einer Wurzel zum Teil nicht sichtbar, Spalt um Apex derselben Wurzel nicht sichtbar
2a-	Parodontalspalt bei 2 Wurzeln zum Teil nicht sichtbar, Spalt um beide Apices sichtbar.
2a+	Parodontalspalt bei 2 Wurzeln zum Teil nicht sichtbar, Spalt bei 1 Apex nicht sichtbar
2b	Parodontalspalt bei 2 Wurzeln zum Teil nicht sichtbar, Spalt um beide Apices nicht sichtbar
3	Parodontalspalt nicht mehr sichtbar

Tabelle 13: Übersicht zu allen Stadien

Die Abgrenzung der einzelnen Stadien war wie die Testreihen zeigten nicht immer eindeutig (siehe Kap. 5.6 *Testreihen*, S. 55). Auch wurde vereinzelt beobachtet, dass beim gleichen Zahn bei chronologisch später erstellten Aufnahmen des gleichen Individuums ein tieferes Stadium vorlag.

Wegen der tiefen Anzahl Fälle sind die Werte von Stadium 3 nicht aussagekräftig und werden später in einem eigenen Abschnitt diskutiert.

Die Auswertung der Fälle zeigt, dass im Altersrange 14 bis 22 Jahre die relative Häufigkeit von Stadium 0 bis 2b von 31,4% (Stadium 0) bis 5,6% (Stad. 2b) kontinuierlich abnimmt. Der Mittelwert und der Median steigen von 17,7 resp. 17,4 Jahren (Stadium 0) bis auf 20,4 resp. 20,5 Jahren (Stadium 2b). Bis auf das Stadium 2b konnten sowohl beim Minimalalter 14,0 als auch im 22. Altersjahr alle Stadien festgestellt werden.

Auch der Vergleich der relativen Häufigkeit der Altersspektrumspole 14 und 22 Jahre zeigt, dass bei beiden alle Stadien von 0 bis 2b vorkommen, auch wenn die Häufigkeitswerte unterschiedlich sind. Stadium 0 kommt bei 14-Jährigen in 56,3%, bei 22-Jährigen in 18% der Fälle vor. Die Stadien 2a+/2b sind in etwa 1% der 14-Jährigen, bei den 22-Jährigen hingegen in über 10% der Fälle vorhanden.

Eine Altersschätzung basierend allein auf Altersveränderungen des Parodontalspalt bei unteren ersten Molaren, ist gestützt auf diese Daten im konkreten Einzelfall unzuverlässig. Statistisch konnte mit Hilfe der logistischen Regression zwar mit zunehmendem Alter tendenziell eine Zunahme von höheren Stadien festgestellt werden, eine zuverlässige Zuordnung eines Stadiums zu einem bestimmten Minimal- oder Maximalalter ist aber nicht möglich.

Stadium 3 (komplett unsichtbarer Parodontalspalt) konnte nur bei 14 Zähnen (0,5%) der insgesamt 2588 nachkontrollierten Zähne festgestellt werden. Die Verteilung über das nachkontrollierte

Altersspektrum erscheint zufällig zu sein, eine Tendenz kann nicht festgestellt werden. Angesichts der wenigen Fälle kann nur spekuliert werden, ob ein vollständig unsichtbarer Spalt artifiziell mit der Qualität des OPT's in einem Zusammenhang steht oder die Obergrenze der untersuchten Kohorte zu tief war und bei einer höheren Altersgrenze Stadium 3 in einer wissenschaftlich verwertbaren Häufigkeit aufgetreten wäre. Bei Olze et al. (2010 [2]) war das identisch definierte Stadium ebenfalls sehr viel weniger häufig als Stadium 2 (teilweise sichtbarer Parodontalspalt), obwohl bis zum 40. Altersjahr untersucht worden ist.

Zusammenfassende Stadieneinteilung

Eine „Zusammenfassende Stadieneinteilung“ mit 3 Klassen wurde aus den 7 Parodontalspaltstadien gebildet, um abzuklären, ob mit Hilfe eines gröberen Rasters aussagekräftigere Schlussfolgerungen möglich sind. Die Klasse A wurde aus den Stadien 0, 1a und 2a- gebildet, die durch einen deutlich sichtbaren Parodontalspalt um den Apex charakterisiert sind. In Klasse A, mit 1832 untersuchten ersten Molaren die mit Abstand grösste Klasse, wurde ein Mittelwert von 18.2 und ein Median von 18.1 Jahren ermittelt.

Die Stadien 1b und 2a+ (304 erste Molaren) sind in der Klasse B zusammengefasst. Das gemeinsame Merkmal ist die radiologische Sichtbarkeit des Parodontalspaltess nur um einen der beiden Apices. Der Mittelwert beträgt 19,6, der Median 20,0 Jahre.

Schliesslich wurden in der Klasse C die Stadien 2b & 3 mit insgesamt 160 Fällen zusammengefasst. Die Gemeinsamkeit der beiden Stadien liegt bei der fehlenden Sichtbarkeit des Parodontalspaltess beider Apices. Der Mittelwert und der Median liegen bei 20.2 respektive 20.5 Jahren.

Bei der „Zusammenfassenden Stadieneinteilung“ ist eine Tendenz vorhanden, dass höhere Klassen mit einem höheren Alter korreliert sind. Dies lässt sich auch statistisch mit der logistischen Regression nachweisen. Die Standardabweichungen zwischen 1,9 Jahren (Klasse C) bis 2,5 Jahren (Klasse A) zeigen angesichts von Mittelwerten von minimal 18,2 bis maximal 20,2 Jahren, dass im Einzelfall auch die „Zusammenfassende Stadieneinteilung“ keine Altersschätzung ermöglicht.

Vergleich der Resultate mit Olze et al. (2010 [2])

Beim Vergleich der erhaltenen Resultate in dieser Studie mit denjenigen von Olze et al. bestehen trotz identischem Untersuchungsdesign – die altersabhängige Sichtbarkeit des Parodontalspaltess im Panoramaröntgenbild – grundlegende Unterschiede, die einen direkten Vergleich der beiden Arbeiten verunmöglichen. Unterschiedlich ist insbesondere die Wahl des untersuchten Zahnes (Olze et al.: Weisheitszahn), aber auch der Altersrange (Olze et al.: 15 – 40 Jahre). Weshalb die Wahl für die vorliegende Arbeit auf den ersten Molaren fiel wurde bereits diskutiert. Trotz ähnlich grosser Gesamtzahl untersuchter OPT's (Olze et al.: 1198, Reutimann: 1429) besteht hinsichtlich der Anzahl Fälle pro Jahr eine grosse Differenz. Mit 9 bis maximal 29 Fälle wurden bei Olze et al. sehr viel

weniger Fälle pro Jahr und Geschlecht untersucht, im Vergleich dazu stehen die Zahlen dieser Studie (111 bis 172 OPT's pro untersuchtes Jahr). Die Autoren der Weisheitszahnstudie beurteilten die Anzahl Fälle pro Jahr für eine solche Untersuchung als genügend.

Die hauptsächlichste Schlussfolgerung von Olze et al. lautete, wenn der Parodontalspalt bei den Weisheitszähnen im Röntgenbild einem Stadium 1 bis 3 (Klassifikation Olze et al.) entspricht, liegt das Minimalalter bei über 18 Jahren. Nur bei Stadium 0 (durchgehend sichtbarer Parodontalspalt) konnten Fälle jünger als 18-jährig festgestellt werden. Bei den Stadien 2 (Parodontalspalt ist nur noch teilweise sichtbar) und 3 (unsichtbarer Parodontalspalt) liegt das Minimalalter über dem in Deutschland ebenfalls relevanten 21. Altersjahr. Die Autoren sahen es als eines der Hauptprobleme, dass die OPT's in ihrer Studie nicht stichprobenmässig ausgewählt wurden.

Aufgrund der Erkenntnisse der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit sind Zweifel an den Schlussfolgerungen von Olze et al. angebracht und die Probleme liegen kaum bei der nicht stichprobenmässigen Auswahl der Röntgenbilder.

- Wie in Kap. 5.6 *Testreihen* (S. 55) erwähnt, ist die Zuordnung des Parodontalspaltes zu einem Stadium oder einer Klasse häufig sehr anspruchsvoll und nicht immer eindeutig möglich. Die im Vergleich zu ersten Molaren sehr variable Wurzelanatomie der Weisheitszähne und unterschiedliche Lage der dritten Molaren im Unterkiefer lassen annehmen, dass die Zuordnung zu einem Stadium bei diesen Zähnen noch bedeutend unsicherer ist. Gestützt wird diese Ansicht von De Angelis et al. (2014 [49]), die Zwischenbeobachterfehler zwischen 23% - 57% fanden.
- Abbildung 1 in der Publikation von Olze et al. zeigt unübersehbare qualitative Unterschiede der einzelnen Röntgenbilder, wie sie aus praktischer Erfahrung bei analogen Röntgenbildern die Regel sind. Je schlechter die Aufnahme, desto eher wird aber der Parodontalspalt nicht korrekt beurteilt werden können. Der Einfluss der Qualität des Röntgenbildes auf das Resultat dürfte grösser sein, als die altersbedingten Veränderungen.
- Die Anzahl untersuchter Fälle pro Jahr und Geschlecht sind für die juristisch in Deutschland relevanten Alter (18 & 21 Jahre) viel zu tief, um sie als „*of great importance to the court*“ (Olze et al. 2010 [2]) bezeichnen zu können.

5.8 Statistische Methoden

Die wichtigsten Resultate wurden zum einen mittels **deskriptiver Statistik** erreicht. Mit diesem statistischen Standardverfahren wurden in dieser Arbeit absolute und relative Häufigkeiten sowie Mittelwerte, Standardabweichungen, Quartile und die 95%-Vertrauensintervalle berechnet. Die erhaltenen Zahlen und Werte vermitteln einen guten Eindruck über die Datenlage und Resultate der Untersuchung. Bei einer reinen Mittelwertbestimmung weist jedoch das gewählte Altersspektrum

einen Einfluss auf das Resultat auf (Knell et al. 2009 [19]). Es wird damit pro Stadium das mittlere vorherrschende Alter aufgezeigt in Relation zu dem unteren und oberen Ende des Spektrums. Zur Veranschaulichung wurden in Tabelle 29 zu 2 zusätzlichen und willkürlich gewählten Altersspektren die Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Stadien berechnet (für m + w, Zusammenfassende Stadieneinteilung). Man erkennt, dass sich der Mittelwert je nach gewähltem Spektrum deutlich verändert.

Mittelwert, Standardabweichung und Median in Altersspektren für m+w						
Zahn	36			46		
Alter	14 - 22	15 - 20	17 - 22	14 - 22	15 - 20	17 - 22
Stadium						
A Mw (SD)	18.22 (2.54)	17.94 (1.67)	19.79 (1.71)	18.24 (2.55)	17.92 (1.69)	19.83 (1.70)
Median	18.10	17.90	19.73	18.18	17.93	19.75
B Mw (SD)	19.65 (2.31)	18.53 (1.72)	20.45 (1.62)	19.52 (2.32)	18.54 (1.63)	20.30 (1.68)
Median	20.00	18.85	20.74	19.93	18.78	20.37
C Mw (SD)	20.05 (2.05)	19.05 (1.40)	20.43 (1.63)	20.42 (1.85)	19.20 (1.43)	20.65 (1.58)
Median	20.29	19.27	20.45	20.76	19.35	20.80

Tabelle 29: Mittelwerte (Mw), Standardabweichung (SD) und Median von Stadien in verschiedenen Altersspektren für m + w

Untersuchungen welche sich mit der Evaluation von Merkmalen zur forensischen Altersdiagnostik befassen, sollten neben einer deskriptiven Statistik vorzugsweise auch das vom gewählten Altersspektrum unabhängige statistische Verfahren der logistischen Regression berücksichtigen. Die logistische Regression berechnet in dieser Studie kein durchschnittliches Alter pro Stadium sondern schätzt die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins von Stadien bei einem bestimmten Alter. Für weiterführende Informationen über das statistische Verfahren der logistischen Regression wird auf die Arbeit von Ruhstaller verwiesen (2006 [17]).

5.9 Geschlechterspezifische Unterschiede

In den Resultaten der Stadieneinteilung Studie wie in der Zusammenfassenden Stadieneinteilung zeigte sich, dass zwischen den beiden Geschlechtern ein prozentual grösserer Anteil von tiefen Stadien bei der weiblichen Kohorte gefunden wurde. Im mittleren Bereich der Stadien zeigte sich eine Angleichung der Fallzahlen. Der prozentual grössere Anteil bei hohen Stadien viel auf die männliche Kohorte. Die Fallzahl für Stadium 3 (Stadieneinteilung Studie) ist für eine zuverlässige Aussage zu klein.

Das statistische Verfahren des gemischten Modells (Mixed Model), zeigte für den Faktor Geschlecht keinen signifikanten Einfluss auf die Altersverteilung der Parodontalspaltstadien bzw. der Klassen ($P=0.165$).

5.10 Seitenvergleich (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

Links-rechts Seitenvergleich

In knapp 70% der Fälle wurden bei den Zähnen 36 und 46 die gleiche Parodontalklasse gefunden (siehe S. 46, Tabelle 23). In 20% der Fälle wurde Zahn 46 einer höheren Klasse zugeteilt, dies unabhängig von der Altersgruppe. Die Differenz der Mittelwerte ist mit 0.1550, verglichen mit der Standardabweichung von 0.6390, allerdings sehr gering.

Es ist nicht auszuschliessen, dass eine apparaturbedingte Eigenheit (Strahlengang etc.) des verwendeten Orthopantomographen zu diesem Resultat führen kann. In den Studien von Gleiser & Hunt (1955 [150]), Haavikko (1970 [115]) sowie Liversidge et al. (2006 [139]), in welchen auch untere erste Molaren untersucht wurden, fanden sich keine Zahlen zu Links-rechts Abweichungen, die einen Vergleich mit den erhaltenen Resultaten ermöglichten.

Das statistische Verfahren des gemischten Modells (Mixed Model) zeigt für den Faktor Links-Rechts keinen signifikanten Einfluss auf die Altersverteilung der Parodontalspaltklassen ($P=0.581$).

6 Schlussfolgerungen

In dieser Arbeit konnten bei den ersten Molaren im Unterkiefer statistisch signifikante altersabhängige Veränderungen im Sinne einer zunehmenden Verengung des Parodontalspaltes festgestellt werden. Sie sind weder geschlechtsspezifisch, noch konnten das Resultat verfälschende Werte durch im Röntgenbild sichtbare kieferorthopädische Therapien festgestellt werden. Hingegen wurde eine schwierig zu interpretierende rechts-links Abweichung festgestellt.

Eine zuverlässige Altersdiagnostik mit Hilfe der Untersuchung des Parodontalspaltes bei unteren ersten Molaren ist für die in der Schweiz juristisch relevanten Altersgrenzen (15., 16. & 18 Altersjahr) nicht möglich. Bereits der histologische Aufbau des Parodonts und die Abhängigkeit von dessen Breite von okklusalen Faktoren lassen Zweifel an der Eignung des Parodontalspaltes für die Beantwortung der in Kapitel 2.5 „Ziel der Arbeit“ gestellten Fragestellungen aufkommen. Weitere kritische Punkte bei der konkreten Anwendung der Methode sind:

- die im Einzelfall schwierige Zuordnung der Zähne 36/46 zu einzelnen PAR-Stadien
- die grossen Streubreiten
- die Abhängigkeit von der Qualität des Röntgenbildes

Es bestehen deshalb berechtigte Zweifel, ob die von Kupfer (2011 [48]) erarbeiteten und von Olze et al. (2010 [2]) publizierten Aussagen, dass ab einem bestimmten Stadium ein für Deutschland juristisch relevantes Minimalalter (18 & 21 Jahre) vorliege, wissenschaftlich haltbar sind. So muss die Wahl des Weisheitszahnes für Untersuchungen am Parodontalspalt angesichts der grossen Variabilität von Wurzelkonfigurationen und seinen unterschiedlichsten anatomischen Lagen im Unterkiefer als fragwürdig bezeichnet werden. Die Zahl der von Olze et al. untersuchten Fälle pro Jahrgang (9 bis 29 OPT's) ist für wissenschaftlich aussagekräftige Daten zudem sehr klein. Angesichts der erfahrungsgemäss deutlichen qualitativen Unterschiede analoger OPT's ist schliesslich auch die Wahl analoger Röntgenbilder nicht zeitgemäss.

7 Literaturverzeichnis

- [1]. **Knell B.** Zahnärztliche Altersdiagnostik zur Frage nach dem 18. Altersjahr. *Kriminalistik*. 2:122-127, 2012.
- [2]. **Olze A., Solheim T., Schulz R., Kupfer M., Pfeiffer H., Schmeling A.** Assessment of the radiographic visibility of the periodontal ligament in the lower third molars for the purpose of forensic age estimation in living individuals. *Int J Legal Med*. 124:445-448, 2010.
- [3]. **Verhoff M. A., Kreutz K., Ramsthaler F., Schiwy-Bochat K.H.** Forensische Anthropologie und Osteologie - Übersicht und Definitionen. *Dtsch Arztebl*. 103(12):A 782-788, 2006.
- [4]. **INTERPOL, TEWG.** The DVI Response to the South East Asian Tsunami between December 2004 and February 2006. *INTERPOL Tsunami Evaluation Working Group*. 2004-2006.
- [5]. **Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft.** Bundesgesetz über das Jugendstrafrecht (Jugendstrafgesetz JStG, SR 311.1). Bern 2003 (Stand 20.06.2003).
- [6]. **Demirjian A., Goldstein H., Tanner J.M.** A new system of dental age assessment. *Hum Biol*. 45:211-227, 1973.
- [7]. **Mincer H.H., Harris E.F., Berryman H.E.** The A.B.F.O. study of third molar development and its use as an estimator of chronological age. *J Forensic Sci*. 38:379-390, 1993.
- [8]. **Gunst K., Mesotten K., Carbonez A., Willems G.** Third molar root development in relation to chronological age: a large sample sized retrospective study. *Forensic Sci Int*. 136:52-57, 2003.
- [9]. **Olze A., Schmeling A., Taniguchi M., Maeda H., van Niekerk B., Wernecke K.D., Geserick G.** Forensic age estimation in living subjects: the ethnic factor in wisdom tooth mineralization. *Int J Legal Med*. 118:170-173, 2004.
- [10]. **Schmeling A.** Forensische Altersdiagnostik bei lebenden Jugendlichen und jungen Erwachsenen. *Rechtsmedizin (Online-Ausgabe)*. DOI 10.1007/s00194-011-0741-5. 21:151-162, 2011.
- [11]. **Knell B.** Zahnärztliche Forensik. *Vorlesung*. ZZM Universität Zürich, 2011.
- [12]. **AGFAD.** Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik (der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin). <http://agfad.uni-muenster.de/german/ring.htm>. 2012 (Stand 15.04.2013).
- [13]. **Geserick G., Schmeling A.** Qualitätssicherung der forensischen Altersdiagnostik bei lebenden Personen. *Rechtsmedizin (Online-Ausgabe)*. DOI 10.1007/s00194-010-0704-2, 2010.
- [14]. **Knell B.** Forensische Odontologen der Schweiz (FOCH). *SMfZ*. 116:1172, 2001.
- [15]. **Knell B., Markwalder T.H.** Die Rolle des Zahnarztes in der heutigen forensischen Altersschätzung - Stellungnahme der FOCH. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*. 119:168, 2009.
- [16]. **Schmeling A., Grundmann C., Fuhrmann A., Kaatsch H.J., Knell B., Ramsthaler F., Reisinger W., Riepert T., Ritz-Timme S., Rösing F.W., Röttscher K., Geserick G.** Criteria for age estimation in living individuals. *Int J Legal Med*. 122(6):457-460, 2008.
- [17]. **Ruhstaller A.P.** Zahnärztliche Altersdiagnostik durch röntgenologische Evaluation der Entwicklungsstadien des unteren Weisheitszahnes: Auswertung von 1260 Orthopantomogrammen von Jugendlichen und jungen Erwachsenen. *Med Diss*. Universität Zürich, 2006.
- [18]. **Dietsch A.** 10 Jahre Altersschätzung an Lebenden (1994-2004) am Institut für Rechtsmedizin der Universität Zürich - Irchel. *Med Diss*. Universität Zürich, 2009.
- [19]. **Knell B., Ruhstaller P., Prieels F., Schmeling A.** Dental age diagnostics by means of radiographical evaluation of the

growth stages of lower wisdom teeth. *Int J Legal Med.* 123:465-469, 2009.

[20]. **Knell B., Schmeling A.** Einfluss der Retention auf die Weisheitszahnmineralisation. *Rechtsmedizin.* 20:469-474, 2010.

[21]. **Bieri W., Schulthess A., Ley T, Keystone AG.** Pilot hatte Flugangst und viel durch Prüfungen. *blick.ch*.
<http://www.blick.ch/news/schweiz/pilot-hatte-flugangst-und-fiel-durch-pruefungen-89634>. 2008 (Stand 26.01.2012).

[22]. **Schweizerisches Bundesamt für Migration BFM.** Das Bundesamt für Ausländer BFM. Seine Aufgaben kurz erklärt. Ausländer und Ausländerinnen und Asylsuchende in der Schweiz (Broschüre 3. Auflage). BFM Information & Kommunikation. Bern 2008.

[23]. **Bundesverwaltung der Schweizerischen Eidgenossenschaft.** Asylgesetz (AsylG, SR 142.31). Bern 1998 (Stand 01.04.2011).

[24]. **Bundesrat der Schweiz.** Asylverordnung 1 über Verfahrensfragen (AsylV, SR 142.311). Bern 1999 (Stand 01.01.2011).

[25]. **Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft.** Strahlenschutzgesetz (StSG, SR 814.50). Bern 1991 (Stand 01.01.2007).

[26]. **Bundesrat der Schweiz.** Strahlenschutzverordnung (StSV, SR 814.501). Bern 1994 (Stand 01.01.2012).

[27]. **Schweizerisches Bundesamt für Gesundheit BAG.** Radioaktivität und Strahlenschutz (Broschüre). BBL Vertrieb Publikationen. Bern 2007.

[28]. **Rötzscher K.** Forensische Zahnmedizin. *Books on Demand GmbH Norderstedt.* 3-8334-0372-1, 2000.

[29]. **Olze A., Mahlow A., Schmidt S., Geserick G., Schmeling A.** Radiologically determined DMF index variations for forensic age estimation of young adults. *Arch Kriminol.* 214:103-111, 2004.

[30]. **J.F. Roulet, S. Zimmer.** Prophylaxe und Präventivzahnmedizin. *Thieme-Verlag Stuttgart.* 3-13-135651-0, 2003.

[31]. **Greulich W.W., Pyle S.I.** Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. *Stanford university Press.* Stanford 1959.

[32]. **Schmeling A., Schulz R., Reisinger W., et. al.** Studies on the time frame for ossification of the medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography. *Int. J. Legal Med.* 118:5-8, 2004.

[33]. **Kellinghaus M., Schulz R., Vieth V., Schmidt S., Schmeling A.** Forensic age estimation in living subjects based on the ossification status of the medial clavicular epiphysis as revealed by thin-slice multidetector computed tomography. *Int J. Legal Med.* 124:149-154, 2010.

[34]. **Kreitner K.F., Schweden F.J., Riepert T., Nafe B., Thelen M.** Bone age determination based on the study of medial extremity of the clavicle. *Eur Radiol.* 8:1116-1122, 1998.

[35]. **Schmeling A., Olze A., Reisinger W., Geserick G.** Der Einfluss der Ethnie auf die bei strafrechtlichen Altersschätzungen untersuchten Merkmale. *Rechtsmedizin.* 11:78-81, 2001.

[36]. **Knell B.** *Persönliche Mitteilungen.* Kilchberg CH, 2013 - 2015.

[37]. **Schmeling A.** Forensische Altersdiagnostik bei lebenden Jugendlichen und jungen Erwachsenen. *Rechtsmedizin (Online-Ausgabe).* DOI 10.1007/s00194-011-0741-5, 21:151-162, 2011.

[38]. **klinefelter.ch.** Einführung. *klinefelter.ch*. <http://www.klinefelter.ch/einfuehrung.html>, 2015 (Stand 03.07.2015).

[39]. **wikipedia.org.** Klinefelter-Syndrom. *wikipedia.org*.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Klinefelter-Syndrom>, 2014 (Stand 03.12.2014).

[40]. **wikipedia.org.** Hypogonitalismus. *wikipedia.org*.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Hypogonitalismus>, 2014 (Stand 03.12.2014).

[41]. **Gustafson G.** Altersbestimmung an Zähnen. *Dtsch Zahnärztl Z.* 10:1763-1768, 1955.

- [42]. **Ketterl W.** Age-induced changes in the teeth and their attachment apparatus. *Int Dent J.* 33(3):262-271, 1983.
- [43]. **Zuhrt R.** Biological aspects of endodontics in advanced old age. *Dtsch Stomatol.* 41(1):4-10, 1991.
- [44]. **Gustafson G.** Forensic odontology. *Aust Dent J.* 7:239-303, 1962.
- [45]. **Matsikidis G.** Altersbestimmung an Zahnfilmen. *Med Diss.* Universität Heidelberg, 1981.
- [46]. **Olze A., Hertel J., Schulz R., Wierer T., Schmeling A.** Radiographic evaluation of Gustafson's criteria for the purpose of forensic age diagnostics. *Int J Legal Med.* 126:615-621, 2012.
- [47]. **Olze A., Solheim T., Schulz R., Kupfer M., Schmeling A.** Evaluation of the radiographic visibility of the root pulp in the lower third molars for the purpose of forensic age estimation in living individuals. *Int J Legal Med.* 124:183-186, 2010.
- [48]. **Kupfer A.M.** Untersuchungen zur radiologischen Sichtbarkeit der Wurzelpulpa und des Parodontalspalts unterer dritter Molaren. *Med Diss.* Universitätsmedizin Berlin, 2011.
- [49]. **De Angelis D., Gibelli D., Merelli V., Botto M., Ventura F., Cattaneo C.** Application of age estimation methods based on teeth eruption: how easy is Olze method to use. *Int J Legal Med.* 128:841-844, 2014.
- [50]. **Pasler A.P., Visser H.** Taschenatlas der zahnärztlichen Radiologie. *Thieme-Verlag Stuttgart.* 3-13-128991-0, 2003.
- [51]. **Kavo Dental.** KaVo Imaging Solutions – KaVo Pan eXam Plus. *Produktbroschüre.* Mat.-Nr 1.008.7211 07/12, 2012.
- [52]. **Röntgen W.C.** Über eine neue Art von Strahlen (Vorläufige Mitteilung). *Aus den Sitzungsberichten der Würzburger Physik.-medic. Gesellschaft.* 1895-1896.
- [53]. **Walkhoff F. O.** 1. Anwendung der Röntgenstrahlen und des Radiums in der Zahnheilkunde. *Corr Zahnheilk.* 52:307, 1928.
- [54]. **Teiser H.G.** Haupt- und Nebenfunde in der Auswertung von Panoramaschichtaufnahmen. *Med Diss.* Wilhelms-Universität Münster, 2009.
- [55]. **Bocage A.E.M.** Procédé et dispositif de radiographie sur plaque en mouvement. *Brevet français.* Patent No. 534464, 1922.
- [56]. **Numata H.** A trial of the narrow beam radiography. *J Shimazu Studies.* 12:6-12, 1934.
- [57]. **Van Tiggelen R.** In search for the third dimension: from radiostereoscopy to three-dimensional imaging. *JBR-BTR.* 85:266-270, 2002.
- [58]. **Bailoor D., Nagesh K.S.** Fundamentals of Oral Medicine and Radiology (1. Edition). *Jaypee Brothers Medical Publishers.* 978-8180615146, 2005.
- [59]. **Sömmer C.** Radiologische Querschnittsstudie zur Qualitätsverbesserung von Panoramaschichtaufnahmen mittels Zungerepositionsmanöver. *Med Diss.* Universität Göttingen, 2008.
- [60]. **Heckmann K.** Die Röntgenperspektive und ihre Umwandlung durch eine neue Aufnahmetechnik. *Fortschr Röntgenstr.* 60:144-157, 1939.
- [61]. **Paatero Y.** A new tomographic method for radiographing curved outer surfaces. *Acta Radiol.* 32:177-182, 1949.
- [62]. **Instrumentarium Dental®.** Orthopantomograph® OP200 D, Orthocept OC200D, VT-Volumetric Tomography. *Produktbroschüre (Online-Ausgabe).* http://www.instrumentariumdental.com/Upload/products/OP200_203573_3_lowres.pdf, 203573-3. 2010 (Stand 24.01.2012).
- [63]. **Alter A.** Röntgen in der Zahnmedizin - Teil IV Bildansprache. *Vorlesungsunterlagen.* ZSM Universität Zürich, 2009.
- [64]. **Lambrecht T., Kiefer H., Roth J.** Strahlenexposition von analogen und digitalen Zahnstaten und Panoramaschichtaufnahmen. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.* 114:687-693, 2004.

- [65]. **healthco-breitschmid®**. Gerätevergleich Röntgen OPT. *breitschmid.ch*. http://www.breitschmid.ch/de/geraete/geraetevergleich/roentgen_opt (Stand 19.01.2012).
- [66]. **Morf E., CURADEN AG**. *Persönliche Mitteilung*. Kriens CH, 17.09.2013.
- [67]. **Sevkusic Z.** Differenzierung der unterschiedlichen Abbildungsgeometrien von analogen und digitalen Fernröntgenseitenbildern. *Med Diss.* Ludwig-Maximilians-Universität zu München, 2008.
- [68]. **Ramesh A., Tyndall D.A., Ludlow J.B.** Evaluation of a new digital panoramic system: a comparison with film. *Dentomaxillofac Radiol.* 30:98-100, 2001.
- [69]. **Schulze R.K.W., Rosing S.T.R., d'Hoedt B.** Contrast perception in digitized panoramic radiographs compared with their film based origin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 94:388-394, 2002.
- [70]. **Molander B., Gröndahl H.G., Ekestubbe A.** Quality of film-based and digital panoramic radiography. *Dentomaxillofac Radiol.* 33(1):32-36, 2004.
- [71]. **Gijbels F., Sanderink G., Pauwels H., Jacobs R.** Subjective image quality of digital panoramic radiographs displayed on monitor and printed on various hardcopy media. *Clin Oral Investig.* 8(1):25-29, 2004.
- [72]. **Yalcinkaya S., Künzel A., Willers R., Thoms M., Becker J.** Subjective image quality of digitally filtered radiographs acquired by the Dürr Vistascan system compared with conventional radiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 101(5):643-651, 2006.
- [73]. **Introna F., Santoro V., De Donno A., Belviso M.** Morphologic analysis of third-molar maturity by digital orthopantomographic assessment. *Am J Forensic Med Pathol.* 29(1):55-61, 2008.
- [74]. **Landa M.I., Garamendi P.M., Botella M.C., Aleman I.** Application of the method of Kvaal et al. to digital orthopantomograms. *Int J Legal Med.* 123:123-128, 2009.
- [75]. **Kvaal S.I., Kollveit S.M., Thomsen I.O., Solheim T.** Age estimation of adults on dental radiographs. *Forensic Sci Int.* 74:175-185, 1995.
- [76]. **Baksi B.G., Alpöz E., Sogur E., Mert A.** Perception of anatomical structures in digitally filtered and conventional panoramic radiographs: a clinical evaluation. *Dentomaxillofac Radiol.* 39(7):424-430, 2010.
- [77]. **Mahesh M.S., Mahima V.G., Patil K.** A comparative evaluation of film and digital panoramic radiographs in the assessment of position and morphology of impacted mandibular third molars. *Indian J Dent Res.* 22:219-24, 2011.
- [78]. **Yasar F., Yesilova E., Apaydin B.** The effects of compression on the image quality of digital panoramic radiographs. *Clin Oral Invest (Online-Ausgabe)*. DOI 10.1007/s00784-011-0587-y, 2011.
- [79]. **Sabarudin A., Yu Jin T.** Image quality assessment in panoramic dental radiography: a comparative study between conventional and digital systems. *Quant Imaging Med Surg (Online-Ausgabe)*. DOI 10.3978/j.issn.2223-4292.2013.02.07. 3(1):43-48, 2013.
- [80]. **Nessi R., Minorati D., Blanc M., Marzano L., Weinstein R.** Digital orthopantomography with memory phosphorus in the study of periodontal pathology. *Radiol Med.* 88(1-2):18-23, 1994.
- [81]. **Benediktsdottir I.S., Hintze H., Petersen J.K., Wenzel A.** Accuracy of digital and film panoramic radiographs for assessment of position and morphology of mandibular third molars and prevalence of dental anomalies and pathologies. *Dentomaxillofac Radiol.* 32(2):109-115, 2003.
- [82]. **Makris N., Tsiklakis K., Alexiou K.E., Vierrou A.M., Stefaniotis T.** The subjective image quality of conventional and digital panoramic radiography among 6 to 10 year old children. *J Clin Pediatr Dent.* 31(2):109-112, 2006.
- [83]. **Peker I., Toraman A.M., Usalan G., Altunkaynak B.** The comparison of subjective image quality in conventional and digital panoramic radiography. *Indian J Dent.* 20(1):21-25, 2009.

- [84]. **Parissis N., Angelopoulos C., Mantegari S., Karamanis S., Masood F., Tsirlis A.** A comparison of panoramic image quality between a digital radiography storage phosphor system and a film-based system. *K Contemp dent Prakt.* 11(1):9-16, 2010.
- [85]. **Falbe J., Regitz M.** Römpf Lexikon Chemie 10. Auflage (Band 3: H - L). *Georg Thieme Verlag Stuttgart.* 978-3-1320-0011-7, 1996-1999.
- [86]. **Forum Medizin und Energie FME.** Reaktorunfälle in Japan und die gesundheitlichen Folgen. *Geschäftsstelle FME.* Zürich, 2011.
- [87]. **wikipedia.org.** Radon. *wikipedia.org.* <http://de.wikipedia.org/wiki/Radon> (Stand 02.09.2014).
- [88]. **Roth J.** Abschirmungen bei zahnärztlichen Röntgenaufnahmen. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.* 116:1151-1154, 2006.
- [89]. **Patcas R., Schmidlin P.R., Zimmermann R., Gnoinski W.** Die zahnärztliche Betreuung von Schwangeren. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.* 122:729-734, 2009.
- [90]. **Jung H.** Strahlenrisiken durch Röntgenuntersuchungen zur Altersschätzung im Strafverfahren. *Fortschr Röntgenstr.* 172:553-556, 2000.
- [91]. **Alderson Research Labs.** Rando-Phantom®. Stanford CT, USA.
- [92]. **Gijbels F., Jacobs R., Bogaerts R., Debaveye D., Verlinden S., Sanderink G.** Dosimetry of digital panoramic imaging. Part I: Patient exposure. *Dentomaxillofac Radiol.* 34(3):145-149, 2005.
- [93]. **Silva M.A.G., Wolf U., Heinicke F., Gründler K., Visser H., Hirsch E.** Effective dosages for recording Veraviewepocs dental panoramic images: analog film, digital, and panoramic scout for CBCT. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 106:571-577, 2008.
- [94]. **Schroeder H.E.** Orale Strukturbilogie 5. Auflage. *Georg Thieme Verlag Stuttgart - New York.* 3-13-540905-8, 2000.
- [95]. **Luder H.-U.** Orale Histologie und Physiologie. *Vorlesungs-Merkblatt Desmodont.* ZZM Universität Zürich, 2007.
- [96]. **Luder H.-U.** *Persönliche Mitteilung.* Zürich CH, 11.07.2013.
- [97]. **Luder H.-U.** Orale Histologie und Physiologie. *Vorlesungs-Präsentation Desmodont.* ZZM Universität Zürich, 2011.
- [98]. **Rateitschak K.H., Renggli H.H., Mühlemann H.R.** Parodontologie 2nd Edition. *Thieme-Verlag Stuttgart.* 3133878026, 1978.
- [99]. **Coolidge E.D.** The thickness of the human periodontal membrane. *J Am Dent Assoc.* 24:1260, 1937.
- [100]. **soredex®.** cranex-excel. *soredex.com.* <http://www.soredex.com/products/extraoral-imaging/cranex-excel.aspx> (Stand 23.07.2012).
- [101]. **soredex®.** DIGORA® for Windows. *soredex.com.* <http://www.soredex.com/de/produkte/software/digora-for-windows.aspx> (Stand 23.07.2012).
- [102]. **Anderson R.** Raw File Format. *American Society of Media Photographers.* <http://dpbestflow.org/file-format/raw-file-formats> (Stand 22.09.2013).
- [103]. **Joint Photographic Experts Group.** *Official site of the JPEG.* <http://www.jpeg.org/index.html> (Stand 19.04.2012).
- [104]. **Adobe®.** TIFF. *adobe.com.* <http://partners.adobe.com/public/developer/tiff/index.html> (Stand 19.04.2012).
- [105]. **wikipedia.org.** Windows Bitmap. *wikipedia.org.* http://de.wikipedia.org/wiki/Windows_Bitmap (Stand 19.04.2012).
- [106]. **National Electrical Manufacturers Association (nema).** Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM), Part 1: Introduction and Overview. *nema.org.* http://medical.nema.org/Dicom/2011/11_01pu.pdf (PS 3.1-2011), 2011 (Stand 09.02.2012).
- [107]. **National Institutes of Health.** ImageJ - Image Processing and Analysis in Java.

nih.gov. <http://rsbweb.nih.gov/ij> (Stand 19.04.2012).

[108]. **Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Zürich.** Abteilung für Biostatistik, ISPM, Universität Zürich, Hirschgraben 84, CH-8001 Zürich.

[109]. **Cohen J.** A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*. 20:37-46, 1960.

[110]. **medistat GmbH.** medistat - Medizinische Statistik. Spearman-Korrelation. [medi-stat.de. http://www.medi-stat.de/statistik-lexikon-medizin-spearman-korrelation.html](http://www.medi-stat.de/statistik-lexikon-medizin-spearman-korrelation.html) (Stand 23.09.2013).

[111]. **Altman D.G.** Practical statistics for medical research. *Chapman & Hall*. 0-412-27630-5, 1991.

[112]. **Brosius F.** SPSS 8 (Kap. Korrelationen). *International Thomson Publishing - Hamburg*. 978-3826604379, 1988.

[113]. **Seifert B., Tschopp A.** Crashkurs Einführung Biostatistik. *Vorlesungsunterlagen*. Abteilung für Biostatistik, ISPM, Universität Zürich, 2012.

[114]. **AGFAD.** Aktualisierte Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik für Altersschätzungen bei Lebenden im Strafverfahren. *Rechtsmedizin (Online-Ausgabe)*. DOI 10.1007/s00194-008-0571-2. 18:451-453, 2008.

[115]. **Haavikko K., Mattila K.** The formation and the alveolar and clinical eruption of the permanent teeth. An orthopantomographic study. *Suom Hammaslaak Toim*. 66:103-170, 1970.

[116]. **Levesque G.Y., Demirijian A., Tanguay R.** Sexual dimorphism in the development, emergence, and agenesis of the mandibular third molar. *J Dent Res*. 60:1735-1741, 1981.

[117]. **Thorson J., Hägg U.** The accuracy and precision of the third mandibular molar as an indicator of chronological age. *Swed Dent J*. 15:15-22, 1991.

[118]. **Kullman L., Johanson G., Akesson L.** Root development of the lower third molar and

its relation to chronological age. *Swed Dent J*. 16:161-167, 1992.

[119]. **Köhler S., Schmelze S., Loitz C., Püschel K.** Die Entwicklung des Weisheitszahnes als Kriterium der Lebensaltersbestimmung. *Ann Anat*. 176:339-345, 1994.

[120]. **Willershausen B., Löffler N., Schulze R.** Analysis of 1202 orthopantograms to evaluate the potential of forensic age determination based on third molar development stages. *Eur J Med Res*. 6:377-384, 2001.

[121]. **Olze A., Schmeling A., Geserick G., Rieger K., Kalb G.** Untersuchungen zum Mineralisationsstand der dritten Molaren an einer europäischen Population. *Newsletter AKFOS*. 2:47-50, 2001.

[122]. **Mesotten K., Gunst K., Carbonez A., Willems G.** Dental age estimation and third molars: a preliminary study. *Forensic Sci Int*. 129:110-115, 2002.

[123]. **De Salvia A., Calzetta C., Orrico M., De Leo D.** Third mandibular molar radiological development as an indicator of chronological age in European population. *Forensic Sci Int*. 146(Suppl):9-12, 2004.

[124]. **Pietro J.L., Barberia E., Ortega R., Magana C.** Evaluation of chronological age based on third molar development in the Spanish population. *Int J Legal Med*. 119:349-354, 2005.

[125]. **Friedrich R.E., Ulbricht C., van Maydell L.A., Scheuer H.A.** Identification of developmental stages of wisdom teeth on orthopantomograms of adolescents and young adults as an aid for forensic-odontological age estimations: predictive values for the chronological age of 18 years. *Arch Kriminol*. 216:73-88, 2005.

[126]. **Meinl A., Tangl S., Huber C., Maurer B., Watzek G.** The chronology of third molar mineralization in the Austrian population - a contribution to forensic age estimation. *Forensic Sci Int*. 169:161-167, 2007.

[127]. **Olze A., Peschke C., Schulz R., Schmeling A.** Studies of the chronological course of wisdom tooth eruption in a German

population. *J Forensic Leg Med.* 15(7):426-429, 2008.

[128]. **Scheurer E., Quehenberger F., Mund M.T., Merkens H., Yen K.** Validation of reference data on wisdom tooth mineralization and eruption for forensic age estimation in living persons. *Int J Legal Med.* 125:707-715, 2011.

[129]. **Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft.** Schweizerisches Zivilgesetzbuch (ZGB, SR 210). Bern 1907 (Stand 01.01.2011).

[130]. **Bush H.P., Faulkner K.** Image quality and dose management in digital radiography: a new paradigm for optimisation. *Radiat Prot Dosimetry.* 117(1-3):143-147, 2005.

[131]. **Williams M. B., Krupinski E. A., Strauss K. J., Breeden W. K., et al.** Digital Radiography Image Quality: Image Aquisition. *J Am Coll Radiol.* 4:371-388, 2007.

[132]. **Zentrum für Zahnmedizin der Universität Zürich, ZZM.** Orthopantomogramme (graphisch bearbeitet). Zürich, 2012.

[133]. **Ludlow J.B., Davies-Ludlow L.E., Brooks S.L.** Dosimetry of two direct digital imaging devices: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. *Dentomaxillofac Radiol.* 32:229-234, 2003.

[134]. **Meier N., Schmeling A., Loose R., Vieth V.** Altersdiagnostik und Strahlenexposition. *Rechtsmedizin (Online-Ausgabe).* DOI 10.1007/s00194-014-1005-y. 25:30-33, 2015.

[135]. **Bundesamt für Strahlenschutz BfS der Bundesrepublik Deutschland.** StrahlenThemen. *Informationsbroschüre, Referat Presse- und Öffentlichkeitsarbeit.* <http://www.bfs.de/de/bfs/druck/strahlenthemen/hoehenstrahlung.pdf>. Salzgitter, 2003.

[136]. **Friedrich R.E., Ulbricht C., Baronesse von Maydell L.A.** The influence of wisdom tooth impaction on root formation. *Ann Anat.* 185:481-492, 2003.

[137]. **Topkara A., Sari Z.** Investigation of third molar impaction in Turkish orthodontic patients: Prevalence, depth and angular

positions. *Eur J Dent (Online-Ausgabe).* DOI10.4103/1305-7456.119084. 7(Suppl 1):94-98, 2013.

[138]. **Hugoson A., Kugelberg C.F.** The prevalence of third molars in a Swedish population. An epidemiological study. *Community Dent Health.* 5(2):121-138, 1988.

[139]. **Liversidge H.M., Chaillet N., Mörnstad H., Nyström M., Rowlings K., Taylor J., Willems G.** Timing of Demirjian's tooth formation stages. *Annals of Human Biology.* 33(4):454-470, 2006.

[140]. **Bundesamt für Statistik.** Ausländerinnen und Ausländer in der Schweiz - Bericht 2006. *BFS.* 3-303-01223-7, 2006.

[141]. **Bundesamt für Statistik.** Migration und Integration – Indikatoren. *BFS.* <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/07/blank/key/01/01.html>, 2014 (Stand 06.04.2015).

[142]. **Kronfeld R.** Histologic Study of the Influence of Function on the Human Periodontal Membrane. *J Am Dent Assoc.* 18:1242, 1931.

[143]. **Klein A.** Systematische Untersuchungen über die Periodontalbreite. *Ztschr f Stomatol.* 26:417, 1928.

[144]. **Preisseecker O.** Beeinflussung des Periodontiums durch experimentale Entlastung. *Ztschr f Stomatol.* 29:442, 1931.

[145]. **Jozat R.** Über Veränderungen des Periodontiums durch Entlastung. *Dtsch Zahnärztl Wochenschr.* 36:155, 1933.

[146]. **Black G.V.** A study of the histological characters of the periosteum and periodontal membrane. *W. T. Keener Chicago.* S.73, 1887.

[147]. **Noyes F. B., Thomas N. G.** A Textbook of Dental Histology and Embryology. *Lea and Febiger Philadelphia - New York.* S.272, 1921.

[148]. **Lenhossek M.** Handbuch der Zahnheilkunde. v. J. Scheff Wien. 1:268, 1922.

[149]. **Bodecker C. F.** Fundamentals of Dental Histology and Embryology. *The Maximilian Company New York.* S.81, 1926.

[150]. **Gleiser I., Hunt E.** THE PERMANENT MANDIBULAR FIRST MOLAR : ITS CALCIFICATION, ERUPTION AND DECAY. *American Journal of Physical Anthropology*. 13(2):253-283, 1955.

[151]. **Bundesrepublik Deutschland.** Jugendgerichtsgesetz JGG (BGBl. I S. 2554). 1953 (Stand 06.12.2011).

[152]. **Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft.** Schweizerisches Strafgesetzbuch (StGB, SR 311.0). Bern 1937 (Stand 01.01.2012).

8 Anhang

8.1 Resultate der 3. und 4. Testreihe

Tabelle 30 zeigt die in den Testreihen untersuchte Anzahl OPT's pro Alter.

Anzahl OPT's pro Altersstufe zu den Testreihen			
Alter	m	w	Total pro Alter
14	7	6	13
15	5	6	11
16	6	8	14
17	6	8	14
18	9	11	20
19	5	7	12
20	7	9	16
21	7	6	13
22	6	3	9
Total	58	64	122

Tabelle 30: Anzahl untersuchte OPT's in den Testreihen 3 & 4

Tabelle 31 zeigt eine Zusammenfassung der Kappa-Werte und Korrelation (T-Test) der dritten Testreihe (20 OPT's, N=59 Zähne).

Dritte Testreihe Parodont (N=59 Zähne)				
Untersucher 1	Untersucher 2	Kappa	Gepaarter T-Test Mittlere Differenz	Gepaarter T-Test (P-Wert)
A	B	0.697	-0.051	0.635
A	C	0.448	0.237	0.118
B	C	0.339	0.288	0.107

Tabelle 31: Kappa und T-Test zu dritter Testreihe

Die kleinste mittlere Differenz (gepaarter T-Test, deterministisches Bias) bzw. grösste Übereinstimmung (Kappa) wurde zwischen Untersucher A und Untersucher B gefunden.

Tabelle 32 (siehe folgende S. 73) zeigt den Kappa-Wert und das deterministische Bias der vierten Testreihe (106 OPT's, N=191 Zähne).

Vierte Testreihe Parodont (N=191 Zähne)				
Untersucher 1	Untersucher 2	Kappa	Gepaarter T-Test Mittlere Differenz	Gepaarter T-Test (P-Wert)
A	B	0.403	0.288	< 0.001

Tabelle 32: Kappa-Wert und T-Test zu vierter Testreihe

Korrelation von Alter und Stadien

Nachstehend sind die Fallzahlen der einzelnen Stadien (Tabellen 33 und 34) und die Resultate der 4. Testreihe von Untersucher A und B in Box-Plots und Streupunkt-Diagrammen dargestellt (Abb. 47 und 48 bzw. 49 und 50). Die Korrelation der Stadien (nichtparametrisch, nach Spearman) mit chronologischen Alter betrug für Untersucher A 0.338 ($P < 0.001$) und für Untersucher B 0.305 ($P < 0.001$). Mit höheren Stadien nimmt die Wahrscheinlichkeit für ein zunehmendes Alter bei beiden Untersuchern zu.

Untersucher A vierte Testreihe

Stadium Parodont	Anzahl Fälle (Zähne)
0	32
1a	50
1b	17
2a	72
2b	19
3	1

Tabelle 33: Fallzahlen pro Stadium zur 4. Testreihe Untersucher A

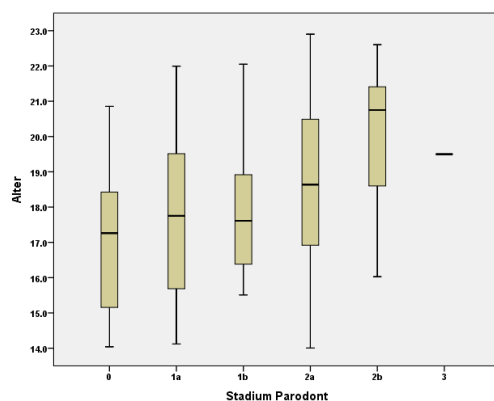


Abb. 47: Boxplot für Alter in Abhängigkeit von Parodontalspaltstadien (Untersucher A)

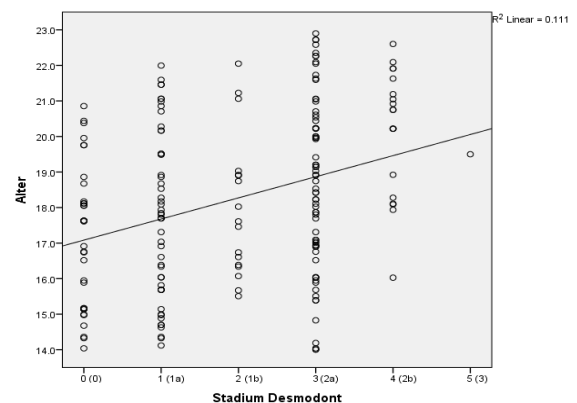


Abb. 48: Streupunktdiagramm für Alter in Abhängigkeit von Parodontalspaltstadien (Untersucher A)

Untersucher B vierte Testreihe

Stadium Parodont	Anzahl Fälle (Zähne)
0	55
1a	40
1b	26
2a	47
2b	22
3	1

Tabelle 34: Fallzahlen pro Stadium zur 4. Testreihe Untersucher B

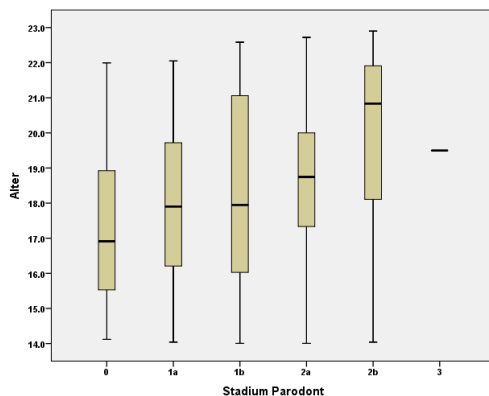


Abb. 49: Boxplot für Alter in Abhängigkeit von Parodontalspaltstadien (Untersucher B)

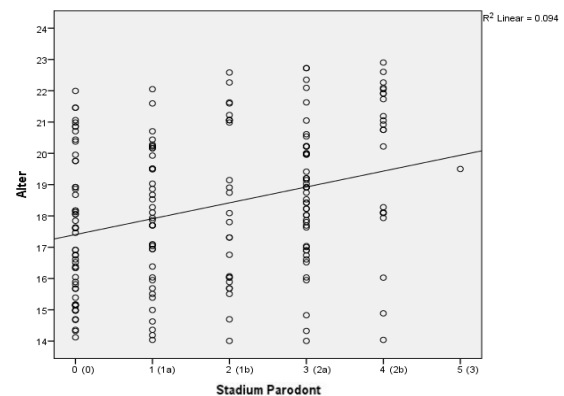


Abb. 50: Streupunktdiagramm für Alter in Abhängigkeit von Parodontalspaltstadien (Untersucher B)

8.2 Tabellen und Diagramme zur Studie

8.2.1 Quantitative Auswertung

Quantitative Auswertung zur Stadieneinteilung Studie

In den Tabellen 35 und 36 sowie den Abbildungen 51/52 und 53/54 (folgende Seiten 75 - 76) sind für jedes Geschlecht ergänzend die absoluten und relativen Anteile der Parodontalspaltstadien pro Jahrgang detailliert, aber auch graphisch (Boxplot und Balkendiagramm) dargestellt.

m		Alter									
Stadium		14	15	16	17	18	19	20	21	22	Gesamt
0	Anzahl	66	67	38	40	28	37	35	22	22	355
	%	55%	56.3%	33.6%	29.4%	20.1%	26.6%	23.8%	15.7%	16.9%	30%
1a	Anzahl	37	22	38	50	39	41	25	29	23	304
	%	30.8%	18.5%	33.6%	36.8%	28%	29.5%	17%	20.7%	17.7%	25.7%
1b	Anzahl	5	17	12	19	23	17	27	20	21	161
	%	4.2%	14.3%	10.6%	14%	16.6%	12.2%	18.4%	14.3%	16.1%	13.6%
2a-	Anzahl	8	4	15	15	24	17	18	22	17	140
	%	6.7%	3.4%	13.3%	11%	17.3%	12.2%	12.2%	15.7%	13.1%	11.8%
2a+	Anzahl	3	7	8	7	16	16	18	28	32	135
	%	2.5%	5.8%	7.1%	5.1%	11.5%	11.5%	12.2%	20%	24.6%	11.4%
2b	Anzahl	0	0	2	5	9	11	21	16	15	79
	%	0%	0%	1.8%	3.7%	6.5%	7.9%	14.3%	11.4%	11.5%	6.7%
3	Anzahl	1	2	0	0	0	0	3	3	0	9
	%	0.8%	1.7%	0%	0%	0%	0%	2%	2.1%	0%	0.8%
Total Zähne		120	119	113	136	139	139	147	140	130	1'183

Tabelle 35: Absoluter und relativer Anteil der Parodontalspaltstadien in Abhängigkeit zum Alter für m (Stadieneinteilung Studie)

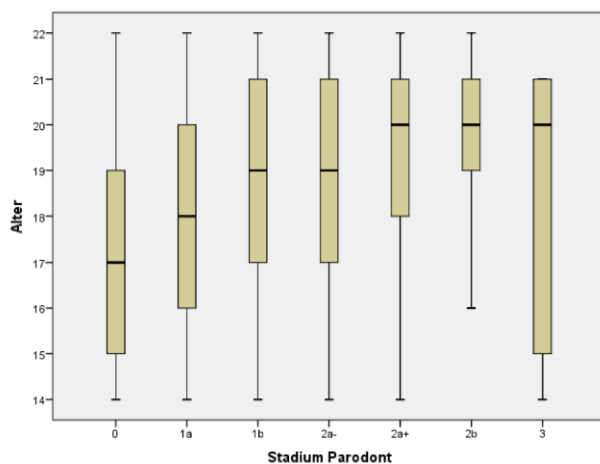


Abb. 51: Boxplot für Alter in Abhängigkeit von Parodontalspaltstadien für m (Stadieneinteilung Studie)

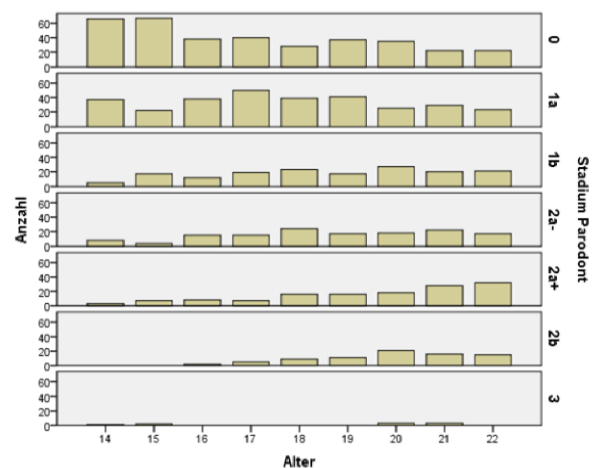


Abb. 52: Balkendiagramm für Alter in Abhängigkeit von Parodontalspaltstadien für m (Stadieneinteilung Studie)

Die Zahl der Fälle mit Stadium 0 nimmt mit zunehmendem Alter deutlich ab. Die Fallzahl zu Stadium 1a zeigt über die verschiedenen Jahrgänge keine ausgeprägte Tendenz zur Zu- oder Abnahme. Die Fallzahlen zu den Stadien 1b, 2a-, 2a+ und 2b steigen mit zunehmendem Alter an. Die Resultate zu Stadium 3 sind wegen der kleinen Fallzahl nicht aussagekräftig.

w		Alter									
Stadium		14	15	16	17	18	19	20	21	22	Gesamt
0	Anzahl	82	67	55	52	45	57	34	36	31	459
	%	57.3%	47.5%	37.9%	36.6%	27.4%	33.3%	20.9%	20.9%	18.9%	32.7%
1a	Anzahl	40	45	48	47	46	41	44	52	37	400
	%	28%	31.9%	33.1%	33.1%	28.1%	24%	27%	30.2%	22.6%	28.5%
1b	Anzahl	8	10	19	10	18	24	27	26	31	173
	%	5.6%	7.1%	13.1%	7%	11%	14%	16.5%	15.1%	18.9%	12.3%
2a-	Anzahl	11	12	17	17	26	25	29	26	30	193
	%	7.7%	8.6%	11.7%	12%	15.9%	14.6%	17.8%	15.1%	18.3%	13.7%
2a+	Anzahl	1	5	4	12	17	13	20	23	15	110
	%	0.7%	3.5%	2.8%	8.5%	10.4%	7.6%	12.3%	13.5%	9.1%	7.8%
2b	Anzahl	1	2	2	4	9	9	9	9	20	65
	%	0.7%	1.4%	1.4%	2.8%	5.4%	5.3%	5.5%	5.2%	12.2%	4.6%
3	Anzahl	0	0	0	0	3	2	0	0	0	5
	%	0%	0%	0%	0%	1.8%	1.2%	0%	0%	0%	0.4%
Total Zähne		143	141	145	142	164	171	163	172	164	1'405

Tabelle 36: Absoluter und relativer Anteil der Parodontalspaltstadien in Abhängigkeit zum Alter für w (Stadieneinteilung Studie)

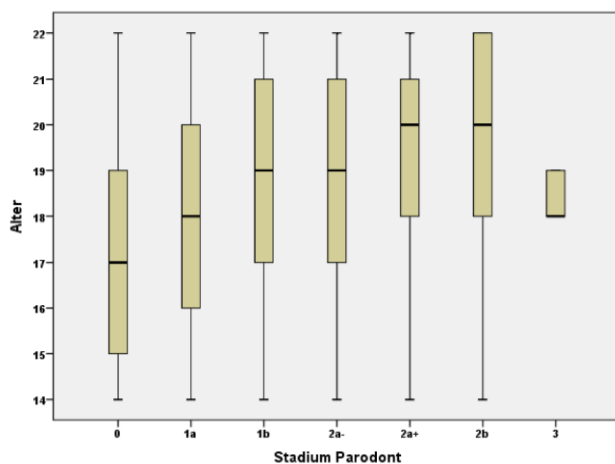


Abb. 53: Boxplot für Alter in Abhängigkeit von Parodontalspaltstadien für w (Stadieneinteilung Studie)

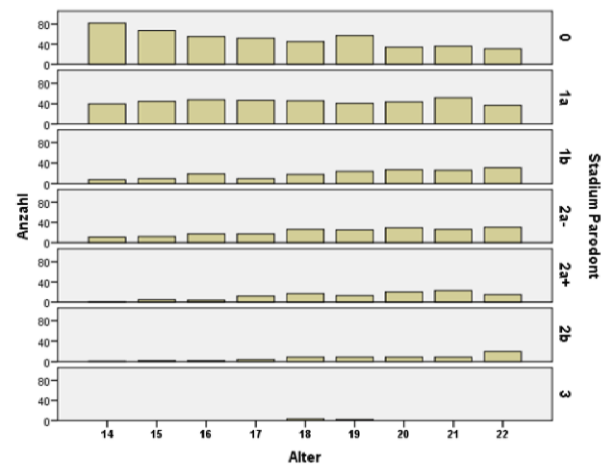


Abb. 54: Balkendiagramm für Alter in Abhängigkeit zu Parodontalspaltstadien und Alter für w (Stadieneinteilung Studie)

Die Zahl der Fälle mit Stadium 0 nimmt mit zunehmendem Alter deutlich ab. Die Fallzahl zu Stadium 1a zeigt sich über die verschiedenen Jahrgänge ausgeglichen. Die Fallzahlen zu den Stadien 1b, 2a-, 2a+ und 2b steigen mit zunehmendem Alter deutlich an. Die Resultate zu Stadium 3 sind wegen der kleinen Fallzahl nicht aussagekräftig.

Quantitative Auswertung zur Zusammenfassenden Stadieneinteilung

In den Tabellen 37 und 38 sowie den Abbildungen 55/56 und 57/58 sind für jedes Geschlecht ergänzend die absoluten und relativen Anteile der Parodontalspaltstadien pro Jahrgang detailliert, aber auch graphisch (Boxplot und Balkendiagramm) dargestellt.

m		Alter									
Klasse		14	15	16	17	18	19	20	21	22	Gesamt
A	Anzahl	110	92	94	100	91	95	74	72	61	789
	%	91.7%	77.3%	80.3%	75.8%	66.4%	66%	50.3%	52.2%	47%	66.7%
B	Anzahl	9	25	21	27	39	35	47	47	54	304
	%	7.5%	21%	18%	20.4%	28.5%	24.1%	32%	34%	41.5%	25.7%
C	Anzahl	1	2	2	5	7	13	26	19	15	90
	%	8.3%	1.7%	1.7%	3.8%	5.1%	9%	17.7%	13.8%	11.5%	7.6%
Total Zähne		120	119	117	132	137	144	147	138	130	1183

Tabelle 37: Absoluter und relativer Anteil der Parodontalspaltklassen in Abhängigkeit des Alters für **m** (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

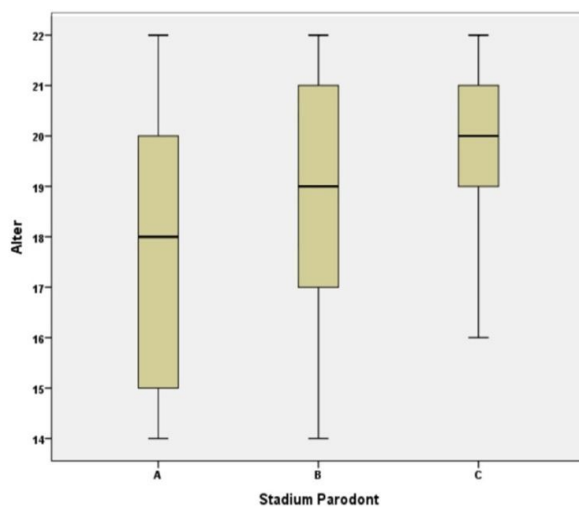


Abb. 55: Boxplot für Alter in Abhängigkeit zu Parodontalspaltklassen für **m** (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

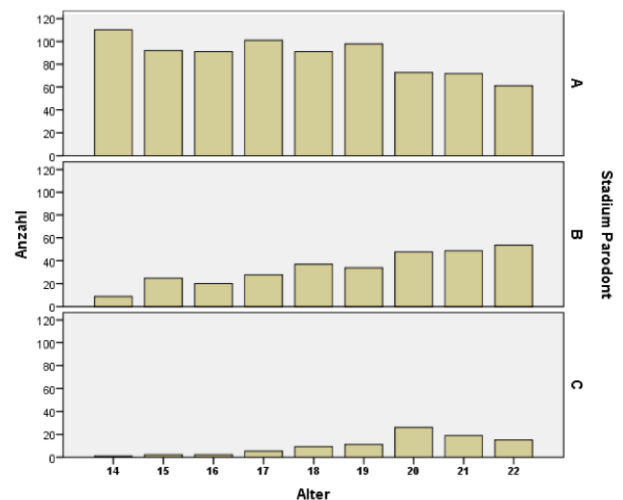


Abb. 56: Balkendiagramm für Alter in Abhängigkeit zu Parodontalspaltklassen für **m** (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

Eine Abnahme der Fallzahl von Klasse A ist mit zunehmendem Alter ersichtlich. Stärker ausgeprägt ist die Zunahme von Klasse B je höher das Alter. Klasse C zeigt bis zum Alter von 20 Jahren eine Tendenz zur Zunahme, die Häufigkeit nimmt danach wieder ab.

w		Alter									
Klasse		14	15	16	17	18	19	20	21	22	Gesamt
A	Anzahl	133	124	115	117	119	120	105	113	97	1043
	%	93%	88%	81.6%	80.1%	71.7%	71.8%	64.5%	65%	59.2%	74.2%
B	Anzahl	9	15	24	25	33	38	49	52	47	292
	%	6.3%	10.6%	17%	17.2%	19.9%	22.7%	30%	29.9%	28.6%	20.8%
C	Anzahl	1	2	2	4	14	9	9	9	20	70
	%	0.7%	1.4%	1.4%	2.7%	8.4%	5.5%	5.5%	5.1%	12.2%	5%
Total Zähne		143	141	141	146	166	167	163	174	164	1405

Tabelle 38: Absoluter und relativer Anteil der Parodontalspaltklassen in Abhängigkeit des Alters für w (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

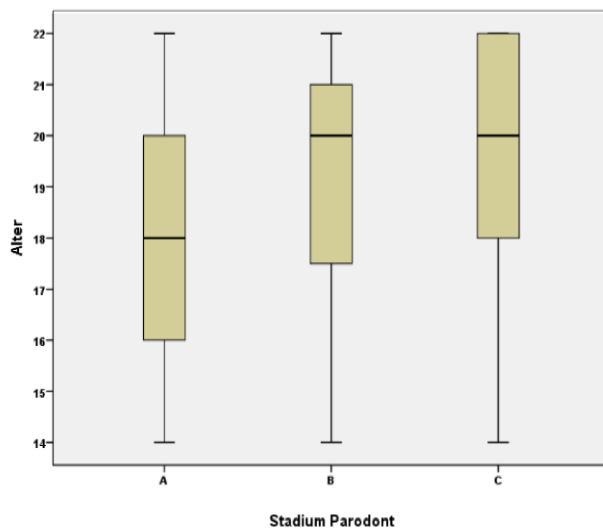


Abb. 57: Boxplot für Alter in Abhängigkeit zu Parodontalspaltklassen für w (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

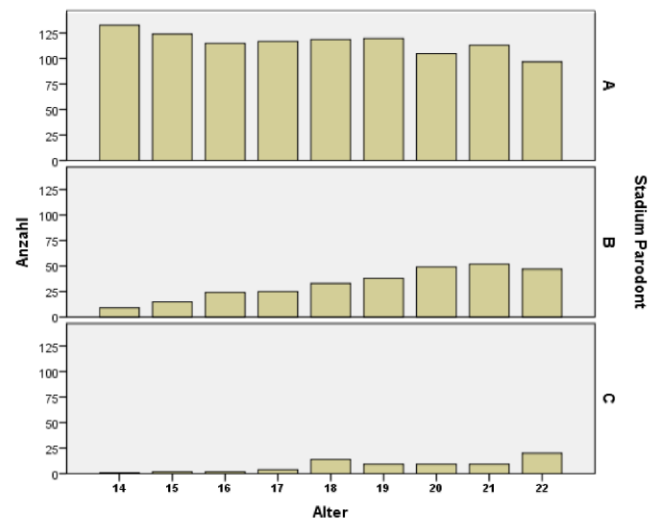


Abb. 58: Balkendiagramm für Alter in Abhängigkeit zu Parodontalspaltklassen für w (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

Die Fallzahl von Klasse A sinkt mit zunehmendem Alter. Stärker ausgeprägt ist die Zunahme der Klasse B je höher das Alter. Klasse C zeigt ab 18 Jahren klar höhere Fallzahlen als bei jüngerem Alter.

8.2.2 Qualitative Auswertung

Qualitative Auswertung zur Zusammenfassenden Stadieneinteilung

Zwischen dem Alter und den Parodontalspaltklassen besteht ein Korrelationskoeffizient nach Spearman von 0.268 ($P < 0.001$), der einer schwachen, aber hoch signifikanten positiven Korrelation entspricht. Es wurde mittels der Tests nach Kolmogorov-Smirnoff und Shapiro-Wilk überprüft, ob bei

den erhaltenen Daten eine Normalverteilung vorliegt. Die Ergebnisse führten zum Schluss, dass keine Normalverteilung der Daten angenommen werden kann. Deshalb wurde separat für beide Geschlechter eine vollständige Beschreibung (deskriptive Statistik) der Daten vorgenommen. Minima und Maxima, Quartile (25%;50%;75%), Mittelwerte, obere und untere Grenze der 95%-Konfidenzintervalle um den wahren Mittelwert (Erklärung: der wahre/echte Mittelwert der Gesamtmenge liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% innerhalb der Konfidenzintervalle um den berechneten Mittelwert) sowie Standardabweichungen wurden berechnet und in den folgenden Tabellen 39 und 40 dargestellt.

Deskriptive Statistik zu Parodontalspaltklassen für das männliche Geschlecht (Zusammenfassende Stadieneinteilung)											
Zahn	Klasse	Anzahl	Min	Max	LQ	Median	UQ	Mw	95%_U	95%_O	SD
36	A	388	14.0	22.9	16.0	17.9	20.0	18.1	17.9	18.4	2.5
	B	158	14.2	22.9	18.1	20.2	21.5	19.6	19.3	20.0	2.4
	C	44	14.8	22.9	18.9	20.3	21.4	20.0	19.4	20.6	2.0
46	A	401	14.0	22.9	15.9	18.0	20.1	18.1	17.9	18.4	2.5
	B	146	14.0	22.9	17.6	19.5	21.4	19.4	19.0	19.8	2.4
	C	46	15.4	22.9	19.8	20.8	21.8	20.1	20.1	21.1	1.6

Tabelle 39: Deskriptive Statistik zu Parodontalspaltklassen pro Zahn (36,46) für m (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

Legende: Zahn 46 bezeichnet den ersten Molaren im Unterkiefer rechts, Zahn 36 denjenigen im Unterkiefer links. Stadium, Anzahl, Min= tiefstes Alter, Max= höchstes Alter, LQ= 25%-Perzentil, Median= 50%-Perzentil, UQ= 75%-Perzentil, Mw= Mittelwert, 95%_U= untere Grenze des 95%-Konfidenzintervalles des wahren Mittelwertes, 95%_O= obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalles des wahren Mittelwertes, SD= Standardabweichung.

Beim männlichen Geschlecht treten alle Klassen von 14.8 bis 22.9 Jahren auf. Dies entspricht einem sehr grossen gemeinsamen Altersbereich. Die Mittelwerte und Mediane nehmen pro höhere Klasse stetig zu.

Deskriptive Statistik zu Parodontalspaltklassen für das weibliche Geschlecht (Zusammenfassende Stadieneinteilung)											
Zahn	Klasse	Anzahl	Min	Max	LQ	Median	UQ	Mw	95%_U	95%_O	SD
36	A	528	14.0	22.9	16.0	18.3	20.4	18.3	18.1	18.5	2.6
	B	138	14.2	22.9	18.0	20.0	21.6	19.7	19.3	20.0	2.2
	C	32	14.6	22.8	18.3	20.3	22.0	20.1	19.3	20.9	2.2
46	A	515	14.0	22.9	16.0	18.3	20.5	18.3	18.1	18.5	2.6
	B	154	14.2	22.9	18.0	20.0	21.5	19.6	19.3	20.0	2.3
	C	38	15.6	22.9	18.5	20.6	22.5	20.2	19.5	20.9	2.1

Tabelle 40: Deskriptive Statistik zu Parodontalspaltklassen pro Zahn (36,46) für w (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

Legende: Zahn 46 bezeichnet den ersten Molaren im Unterkiefer rechts, Zahn 36 denjenigen im Unterkiefer links. Stadium, Anzahl, Min= tiefstes Alter, Max= höchstes Alter, LQ= 25%-Perzentil, Median= 50%-Perzentil, UQ= 75%-Perzentil, Mw= Mittelwert, 95%_U= untere Grenze des 95%-Konfidenzintervalles des wahren Mittelwertes, 95%_O= obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalles des wahren Mittelwertes, SD= Standardabweichung.

Beim weiblichen Geschlecht treten alle Klassen von 14.6 bis 22.8 Jahren auf. Dies entspricht einem sehr grossen gemeinsamen Altersbereich. Die Mittelwerte und Mediane nehmen pro höhere Klasse fast immer stetig zu. Als Gemeinsamkeit in den Resultaten männlich und weiblich ist ersichtlich, dass alle Klassen fast über die gesamte untersuchte Altersspanne auftreten. Ebenfalls steigen die Mittelwerte der Alter fast stetig an je höher die Klasse. Die Mittelwerte der Alter pro Klasse sind bei der männlichen Gruppe immer minim tiefer als bei der weiblichen.

Logistische Regression (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

Das Datenmaterial wurde neben der deskriptiven Statistik auch mit Hilfe der **logistischen Regressionsanalyse** ausgewertet. Es lassen sich damit auch die Mittelwerte und Standardabweichungen der pro Alter vorhergesagten Wahrscheinlichkeiten des Vorliegens von Klassen berechnen.

- **Klasse B** (AC zu B = das beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass Stadium B vorliegt anstatt A oder C)
- **Klasse B oder C** (A zu BC = das beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass Stadium B oder C vorliegt anstatt A)
- **Klasse C** (AB zu C = das beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass Stadium C vorliegt anstatt A oder B)

Die Resultate sind in folgender Tabelle 41 separat für w und m dargestellt.

			Alter								
Klasse	Mw		14	15	16	17	18	19	20	21	22
B	m	%	13.0	15.2	17.7	20.8	24.1	27.8	31.6	35.8	40.6
		SD	0.6	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2	1.2	1.2	1.8
	w	%	9.8	11.7	13.9	16.5	19.0	22.0	25.7	29.7	34.0
		SD	0.5	0.6	0.8	1.9	0.8	0.9	1.0	1.2	1.2
B oder C	m	%	12.6	14.9	18.2	22.3	26.8	31.9	37.2	43.0	49.6
		SD	0.8	0.8	1.1	1.3	1.5	1.7	1.7	1.7	1.7
	w	%	12.1	15.0	18.6	22.3	26.7	31.4	37.2	43.1	49.4
		SD	0.8	0.9	1.0	1.1	1.4	1.5	1.6	1.8	1.7
C	m	%	1.6	2.1	2.7	3.6	4.8	6.3	8.1	10.6	13.9
		SD	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9
	w	%	1.5	2.1	2.8	3.6	4.8	6.1	8.1	10.6	13.7
		SD	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.8	1.0

Tabelle 41: Mittelwert (Mw) der vorhergesagten Wahrscheinlichkeit für Parodontalspaltklassen pro Alter für **männlich und weiblich** (Zusammenfassende Stadieneinteilung). Klas= Klasse; SD= Standardabweichung

Die Mittelwerte der vorhergesagten Wahrscheinlichkeiten in obiger Tabelle 41 beschreiben, dass eine sichere Abgrenzung eines Alters anhand der Zusammenfassenden Stadieneinteilung nicht möglich ist.

In den Abbildungen 59 bis 61 sind die Daten der logistischen Regression aus Tabelle 41 mithilfe von Boxplots visualisiert. Für eine übersichtliche und einheitliche Darstellung wurde in allen Graphiken die Obergrenze der Y-Achsen auf 60% gesetzt.

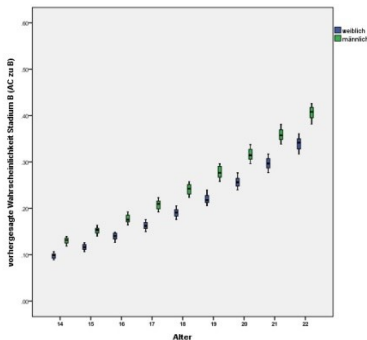


Abb. 59: Boxplot zur Wahrscheinlichkeit von Klasse B (AC zu B) für männlich und weiblich

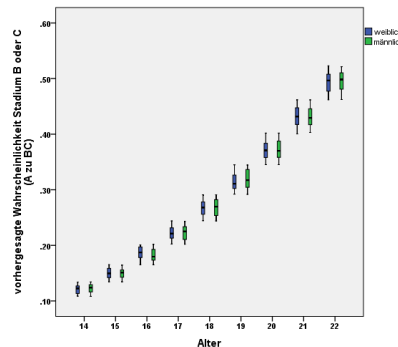


Abb. 60: Boxplot zur Wahrscheinlichkeit von Klasse B oder C (A zu BC) für männlich und weiblich

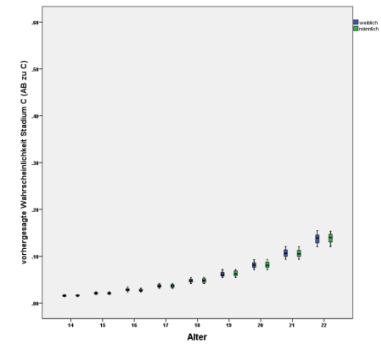


Abb. 61: Boxplot zur Wahrscheinlichkeit Klasse C (AB zu C) für männlich und weiblich

Die Boxplots zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit des Vorliegens von Klasse B gegenüber A oder C ansteigt je höher das Alter. Auch die Wahrscheinlichkeit des Vorliegens von Klasse B oder C gegenüber Klasse A, je höher das Alter ist klar ersichtlich. Die Wahrscheinlichkeit des Vorliegens von Klasse C gegenüber Klasse A oder B, je höher das Alter ist jedoch nicht so stark ausgeprägt.

8.2.3 Seitenvergleich von Parodontalspaltklassen von 46 und 36

Tabelle 42 beschreibt die Differenz der Parodontalspaltklassen von Zahn 46 zu 36. Es besteht ein signifikanter Unterschied ($P < 0.001$).

Differenz der Parodontalspaltklassen von Zahn 46 zu 36		
Mittelwert der Differenz ($p < 0.001$)		.1550
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	.1181
	Obergrenze	.1919
Median		.0000
Standardabweichung		.63904
Minimum (max. Abweichung nach unten)		-2.00
Maximum (max. Abweichung nach oben)		2.00

Tabelle 42: Differenz von Parodontalspaltklassen von 46 und 36 (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

8.2.4 Einfluss von kieferorthopädischen Massnahmen

Verhältnis Kieferorthopädie und Alter

Tabelle 43 zeigt Fallzahlen bei erfolgter oder noch laufender kieferorthopädischer Behandlung in Abhängigkeit zum Alter.

Alter		KO ja=1 / nein=0		Gesamt
		0	1	
14	Anzahl	28	86	114
	% innerhalb von Altersklasse	24.6%	75.4%	100.0%
15	Anzahl	31	84	115
	% innerhalb von Altersklasse	27.0%	73.0%	100.0%
16	Anzahl	30	89	119
	% innerhalb von Altersklasse	25.2%	74.8%	100.0%
17	Anzahl	36	86	122
	% innerhalb von Altersklasse	29.5%	70.5%	100.0%
18	Anzahl	48	86	134
	% innerhalb von Altersklasse	35.8%	64.2%	100.0%
19	Anzahl	60	72	132
	% innerhalb von Altersklasse	45.5%	54.5%	100.0%
20	Anzahl	72	66	138
	% innerhalb von Altersklasse	52.2%	47.8%	100.0%
21	Anzahl	94	53	147
	% innerhalb von Altersklasse	63.9%	36.1%	100.0%
22	Anzahl	75	56	131
	% innerhalb von Altersklasse	57.3%	42.7%	100.0%
Gesamt	Anzahl	474	678	1152
	%	41.1%	58.9%	100.0%

Tabelle 43: In OPT's sichtbare kieferorthopädische Behandlung pro Alter (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

Einfluss von kieferorthopädischen Massnahmen auf Parodontalspaltklassen für einzelne Alter

Bei den Zähnen 46 und 36 zeigte sich ein signifikanter ($P < 0.001$) Einfluss von im OPT sichtbaren kieferorthopädischen Massnahmen auf die Parodontalspaltklassen und dies in allen Altersgruppen. In der Kohorte mit kieferorthopädischen Behandlungen finden sich tiefere Parodontalspaltklassen. Ohne kieferorthopädische Behandlung hat Zahn 36 statistisch eine um 0.089 und Zahn 46 eine um 0.274 höhere Parodontalspaltklasse (Tabelle 44 und 45).

Parameter	Regressionskoeffizient	Standardfehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	.499	.048	.000	.405	.592
14	-.485	.066	.000	-.614	-.357
15	-.366	.065	.000	-.494	-.238
16	-.345	.065	.000	-.472	-.217
17	-.369	.064	.000	-.495	-.243
18	-.269	.062	.000	-.392	-.147
19	-.312	.062	.000	-.434	-.189
20	-.190	.062	.002	-.311	-.069
21	-.188	.061	.002	-.307	-.069
22	0 ^a	.	.	.	.
[KOja1nein0=0]	.089	.032	.005	.027	.151
[KOja1nein0=1]	0^a	.	.	.	.

a. Dieser Parameter wird auf Null gesetzt, weil er redundant ist.

Tabelle 44: Einfluss von kieferorthopädischen Behandlungen auf Parodontalspaltklassen bei Zahn 36 (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

Parameter	RegressionskoeffizientB	Standardfehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	.431	.056	.000	.321	.541
14	-.375	.077	.000	-.527	-.224
15	-.314	.077	.000	-.464	-.163
16	-.265	.076	.001	-.414	-.115
17	-.258	.076	.001	-.406	-.109
18	-.022	.074	.769	-.166	.123
19	-.101	.074	.170	-.245	.043
20	.165	.073	.023	.023	.308
21	-.069	.072	.337	-.209	.072
22	0 ^a	.	.	.	.
[KOja1nein0=0]	.274	.037	.000	.201	.347
[KOja1nein0=1]	0^a	.	.	.	.

a. Dieser Parameter wird auf Null gesetzt, weil er redundant ist.

Tabelle 45: Einfluss von KO auf Parodontalspaltklassen bei Zahn 46 (Zusammenfassende Stadieneinteilung)

8.3 Gesetzesbestimmungen

Auszüge aus dem Schweizerischen Jugendstrafrecht (JStG SR 311.1, 2011 [5])

JStG Art. 1 Ziff. 1a: **Gegenstand und Verhältnis zum Strafgesetzbuch (StGB)**

„Dieses Gesetz regelt die Sanktionen, welche gegenüber Personen zur Anwendung kommen, die vor Vollendung des 18. Altersjahres eine nach dem Strafgesetzbuch (StGB) oder einem andern Bundesgesetz mit Strafe bedrohte Tat begangen haben.“

JStG Art. 3 Ziff. 1: **Persönlicher Geltungsbereich**

„Dieses Gesetz gilt für Personen, die zwischen dem vollendeten 10. und dem vollendeten 18. Altersjahr eine mit Strafe bedrohte Tat begangen haben.“

JStG Art. 4: **Taten vor dem 10. Altersjahr**

„Stellt die zuständige Behörde im Laufe eines Verfahrens fest, dass eine Tat von einem Kind unter zehn Jahren begangen worden ist, so benachrichtigt sie die gesetzlichen Vertreter des Kindes. Liegen Anzeichen dafür vor, dass das Kind besondere Hilfe benötigt, so ist auch die Vormundschaftsbehörde oder die durch das kantonale Recht bezeichnete Fachstelle für Jugendhilfe zu benachrichtigen“

JStG Art. 16 Ziff. 3: **Vollzug**

„Hat der Jugendliche das 17. Altersjahr vollendet, so kann die Massnahme in einer Einrichtung für junge Erwachsene (Art. 61 StGB) vollzogen oder weitergeführt werden.“

JStG Art. 23: **Persönliche Leistung**

„1 Der Jugendliche kann zu einer persönlichen Leistung zu Gunsten von sozialen Einrichtungen, von Werken im öffentlichen Interesse, von hilfsbedürftigen Personen oder des Geschädigten mit deren Zustimmung verpflichtet werden. Die Leistung hat dem Alter und den Fähigkeiten des Jugendlichen zu entsprechen. Sie wird nicht entschädigt.

2 Als persönliche Leistung kann auch die Teilnahme an Kursen oder ähnlichen Veranstaltungen angeordnet werden.

*3 Die persönliche Leistung dauert höchstens zehn Tage. Für Jugendliche, die zur Zeit der Tat das **15. Altersjahr vollendet** und ein Verbrechen oder ein Vergehen begangen haben, kann die persönliche Leistung bis zu einer Dauer von drei Monaten angeordnet und mit der Verpflichtung verbunden werden, sich an einem bestimmten Ort aufzuhalten.*

4 Wird die Leistung nicht fristgemäss oder mangelhaft erbracht, so ermahnt die vollziehende Behörde den Jugendlichen unter Ansetzung einer letzten Frist.

*5 Bleibt die Mahnung ohne Erfolg und hat der Jugendliche zur Zeit der Tat das **15. Altersjahr nicht vollendet**, so kann er verpflichtet werden, die Leistung unter unmittelbarer Aufsicht der vollziehenden Behörde oder einer von ihr bestimmten Person zu erbringen.*

*6 Bleibt die Mahnung ohne Erfolg und hat der Jugendliche zur Zeit der Tat das **15. Altersjahr vollendet**, so erkennt die urteilende Behörde:*

- a. an Stelle einer Leistung bis zu zehn Tagen auf Busse;*
- b. an Stelle einer Leistung über zehn Tagen auf Busse oder Freiheitsentzug; der Freiheitsentzug darf die Dauer der umgewandelten Leistung nicht übersteigen“*

JStG Art. 24 Ziff. 1: **Busse**

„Der Jugendliche, der zur Zeit der Tat das 15. Altersjahr vollendet hat, kann mit Busse bestraft werden. Diese beträgt höchstens 2000 Franken. Sie ist unter Berücksichtigung der persönlichen Verhältnisse des Jugendlichen festzusetzen.“

JStG Art 25 Ziff. 1: **Freiheitsentzug. a. Inhalt und Voraussetzungen**

„Der Jugendliche, der nach Vollendung des 15. Altersjahres ein Verbrechen oder ein Vergehen begangen hat, kann mit Freiheitsentzug von einem Tag bis zu einem Jahr bestraft werden.“

JStG Art. 25 Ziff. 2: **Freiheitsentzug a. Inhalt und Voraussetzungen**

„Der Jugendliche, der zur Zeit der Tat das 16. Altersjahr vollendet hat, wird mit Freiheitsentzug bis zu vier Jahren bestraft, wenn er:

- a. ein Verbrechen begangen hat, das nach dem für Erwachsene anwendbaren Recht mit Freiheitsstrafe nicht unter drei Jahren bedroht ist;*
- b. eine Tat nach den Artikeln 122, 140 Ziffer 3 oder 184 StGB9 begangen und dabei besonders skrupellos gehandelt hat, namentlich wenn der Beweggrund des Jugendlichen, der Zweck der Tat oder die Art ihrer Ausführung eine besonders verwerfliche Gesinnung offenbaren.“*

JStG Art. 37 Ziff. 2: **Vollstreckungsverjährung**

„Der Vollzug jeder nach diesem Gesetz ausgesprochenen Strafe endet spätestens, wenn der Verurteilte Jugendliche das 25. Altersjahr vollendet.“

Auszug aus dem Jugendgerichtsgesetz der Bundesrepublik Deutschland (JGG BGBl. I S. 2554, 2011 [151]).

JGG § 1, Ziff. 2: **Persönlicher und sachlicher Anwendungsbereich**

„Jugendlicher ist, wer zur Zeit der Tat vierzehn, aber noch nicht achtzehn, Heranwachsender, wer zur Zeit der Tat achtzehn, aber noch nicht einundzwanzig Jahre alt ist“

Auszug aus dem Schweizerischen Zivilgesetzbuch (ZGB SR 210, 2011 [129])**ZGB Art. 14: Mündigkeit**

„Mündig ist, wer das 18. Lebensjahr vollendet hat.“

Auszug aus dem Schweizerischen Strafgesetzbuch (StGB SR 311.0, 2012 [152])**StGB Art. 61: Massnahmen für Junge Erwachsene**

„War der Täter zur Zeit der Tat noch nicht 25 Jahre alt und ist er in seiner Persönlichkeitsentwicklung erheblich gestört, so kann ihn das Gericht in eine Einrichtung für junge Erwachsene einweisen, wenn:

- a. der Täter ein Verbrechen oder Vergehen begangen hat, das mit der Störung seiner Persönlichkeitsentwicklung in Zusammenhang steht; und*
- b. zu erwarten ist, dadurch lasse sich der Gefahr weiterer mit der Störung seiner Persönlichkeitsentwicklung in Zusammenhang stehender Taten begegnen.*

2 *Die Einrichtungen für junge Erwachsene sind von den übrigen Anstalten und Einrichtungen dieses Gesetzes getrennt zu führen.*

3 *Dem Täter sollen die Fähigkeiten vermittelt werden, selbstverantwortlich und straffrei zu leben. Insbesondere ist seine berufliche Aus- und Weiterbildung zu fördern.*

4 *Der mit der Massnahme verbundene Freiheitsentzug beträgt höchstens vier Jahre. Er darf im Falle der Rückversetzung nach bedingter Entlassung die Höchstdauer von insgesamt sechs Jahren nicht überschreiten. Die Massnahme ist spätestens dann aufzuheben, wenn der Täter das 30. Altersjahr vollendet hat.*

5 *Wurde der Täter auch wegen einer vor dem 18. Altersjahr begangenen Tat verurteilt, so kann die Massnahme in einer Einrichtung für Jugendliche vollzogen werden.“*

Auszüge aus dem Schweizerischen Asylgesetz (AsylG SR 142.31, 2011 [23])**AsylG Art. 6: Zuständige Behörde**

1 *Das Bundesamt für Migration (Bundesamt) entscheidet über Gewährung oder Verweigerung des Asyls sowie über die Wegweisung aus der Schweiz.“*

AsylG Art. 8: Mitwirkungspflicht

1 *Asylsuchende sind verpflichtet, an der Feststellung des Sachverhaltes mitzuwirken.*

Sie müssen insbesondere:

- a. ihre Identität offen legen;*
- b. in der Empfangsstelle Reisepapiere und Identitätsausweise abgeben;*
- c. bei der Anhörung angeben, weshalb sie um Asyl nachsuchen;*

- d. allfällige Beweismittel vollständig bezeichnen und sie unverzüglich einreichen oder, soweit dies zumutbar erscheint, sich darum bemühen, sie innerhalb einer angemessenen Frist zu beschaffen;*
- e. bei der Erhebung der biometrischen Daten mitwirken.*

2 Von Asylsuchenden kann verlangt werden, für die Übersetzung fremdsprachiger Dokumente in eine Amtssprache besorgt zu sein.

3 Asylsuchende, die sich in der Schweiz aufhalten, sind verpflichtet, sich während des Verfahrens den Behörden von Bund und Kantonen zur Verfügung zu halten. Sie müssen ihre Adresse und jede Änderung der nach kantonalem Recht zuständigen Behörde des Kantons oder der Gemeinde (kantonale Behörde) sofort mitteilen.

4 Nach Vorliegen eines vollziehbaren Wegweisungsentscheides sind die betroffenen Personen verpflichtet, bei der Beschaffung gültiger Reisepapiere mitzuwirken.“

AsylG Art. 17: **Besondere Verfahrensbestimmungen**

„1 Die Bestimmung des Verwaltungsverfahrensgesetzes 18 über den Fristenstillstand findet keine Anwendung auf das Asylverfahren.

2 Der Bundesrat erlässt ergänzende Bestimmungen über das Asylverfahren, insbesondere um der speziellen Situation von Frauen und Minderjährigen im Verfahren gerecht zu werden.

3 Die zuständigen kantonalen Behörden bestimmen für unbegleitete minderjährige Asylsuchende unverzüglich eine Vertrauensperson, welche deren Interessen wahrnimmt für die Dauer:

- a. des Verfahrens am Flughafen, wenn dort entscheidrelevante Verfahrensschritte durchgeführt werden;*
- b. des Aufenthaltes in einer Empfangsstelle, wenn dort über die Kurzbefragung gemäss Artikel 26 Absatz 2 hinausgehende entscheidrelevante Verfahrensschritte durchgeführt werden; oder*
- c. des Verfahrens nach Zuweisung in den Kanton.“*

AsylG Art. 26: **Empfangsstellen**

„1 Der Bund errichtet Empfangsstellen, die vom Bundesamt geführt werden.

2 Die Empfangsstelle erhebt die Personalien und erstellt in der Regel Fingerabdruckbogen und Fotografien. Sie kann weitere biometrische Daten erheben und die Asylsuchenden summarisch zum Reiseweg und zu den Gründen befragen, warum sie ihr Land verlassen haben.

2^{bis} Bestehen im Rahmen eines ausländerrechtlichen Verfahrens oder eines Strafverfahrens Hinweise, dass eine angeblich minderjährige ausländische Person das Mündigkeitsalter bereits erreicht hat, so veranlasst die Empfangsstelle ein Altersgutachten.

3 Das Departement erlässt Bestimmungen, um ein rasches Verfahren und einen geordneten Betrieb sicherzustellen.“

AsylG Art. 32: **Nichteintretensgründe**

„1 Auf Gesuche, welche die Voraussetzungen von Artikel 18 nicht erfüllen, wird nicht eingetreten.

2 Auf Asylgesuche wird nicht eingetreten, wenn Asylsuchende:

- a. den Behörden nicht innerhalb von 48 Stunden nach Einreichung des Gesuchs Reisepapiere oder andere Dokumente abgeben, die es erlauben, sie zu identifizieren; diese Bestimmung findet keine Anwendung, wenn Asylsuchende glaubhaft machen können, dass sie dazu aus entschuldbaren Gründen nicht in der Lage sind, oder wenn Hinweise auf eine Verfolgung vorliegen, die sich nicht als offensichtlich haltlos erweisen;*
- b. die Behörden über ihre Identität täuschen und diese Täuschung aufgrund der Ergebnisse der erkennungsdienstlichen Behandlung oder anderer Beweismittel feststeht;*
- c. ihre Mitwirkungspflicht schuldhaft auf andere Weise grob verletzen;*
- d. in ein Land ausreisen können, in welchem bereits ein Asylgesuch hängig ist oder das staatsvertraglich für die Durchführung des Asyl- und Wegweisungsverfahrens zuständig ist und das sie nicht zur Ausreise in ein Land zwingt, in welchem sie verfolgt würden oder unmenschlicher Behandlung ausgesetzt wären;*
- e. in der Schweiz bereits ein Asylverfahren erfolglos durchlaufen oder ihr Gesuch zurückgezogen haben oder während des hängigen Asylverfahrens in den Heimat- oder Herkunftsstaat zurückgekehrt sind, ausser die Anhörung ergebe Hinweise, dass in der Zwischenzeit Ereignisse eingetreten sind, die geeignet sind, die Flüchtlingseigenschaft zu begründen oder die für die Gewährung vorübergehenden Schutzes relevant sind;*
- f. in einem Staat der Europäischen Union (EU) oder des Europäischen Wirtschaftsraums (EWR) einen ablehnenden Asylentscheid erhalten haben, ausser die Anhörung ergebe Hinweise, dass in der Zwischenzeit Ereignisse eingetreten sind, die geeignet sind, die Flüchtlingseigenschaft zu begründen, oder die für die Gewährung vorübergehenden Schutzes relevant sind.“*

AsylG Art. 119: Vollzug

„Der Bundesrat wird mit dem Vollzug beauftragt. Er erlässt die Ausführungsbestimmungen.“

Auszug aus der Schweizerischen Asylverordnung (AsylV SR 142.311, 2011 [24])

AsylV. Art. 7: Spezielle Situation von Minderjährigen im Asylverfahren

„1 Im Rahmen der Feststellung des Sachverhaltes kann mit Unterstützung wissenschaftlicher Methoden abgeklärt werden, ob die Altersangabe der asylsuchenden Person dem tatsächlichen Alter entspricht.

2 Kann für unbegleitete minderjährige Asylsuchende nach Zuweisung in den Kanton nicht sofort eine Beistand- oder Vormundschaft eingesetzt werden, so ernennt die zuständige kantonale Behörde für die Dauer des Asyl- und Wegweisungsverfahrens, längstens aber bis zur Ernennung eines Beistandes oder Vormundes oder bis zum Eintritt der Volljährigkeit, unverzüglich eine Vertrauensperson.

3 Die Vertrauensperson begleitet und unterstützt die unbegleitete minderjährige Person im Asylverfahren.

4 Die kantonale Behörde teilt dem BFM oder dem Bundesverwaltungsgericht sowie den Minderjährigen die Ernennung der Vertrauensperson und sämtliche vormundschaftlichen Massnahmen unverzüglich mit.

5 Personen, die minderjährige asylsuchende Personen anhören, tragen den besonderen Aspekten der Minderjährigkeit Rechnung.“

Auszüge aus dem Schweizerischen Strahlenschutzgesetz (StSG SR 814.50, 2007 [25])

StSG Art 1: Zweck

„Dieses Gesetz bezweckt, Mensch und Umwelt vor Gefährdungen durch ionisierende Strahlen zu schützen“

StSG Art 8: Rechtfertigung der Strahlenexposition

„Eine Tätigkeit, bei der Menschen oder die Umwelt ionisierenden Strahlen ausgesetzt sind (Strahlenexposition), darf nur ausgeübt werden, wenn sie sich mit den damit verbundenen Vorteilen und Gefahren rechtfertigen lässt“

StSG Art. 9: Begrenzung der Strahlenexposition

„Zur Begrenzung der Strahlenexposition jeder einzelnen Person sowie der Gesamtheit der Betroffenen müssen alle Massnahmen ergriffen werden, die nach der Erfahrung und dem Stand von Wissenschaft und Technik geboten sind.“

StSG Art 43: Ungerechtfertigte Bestrahlung von Personen

„1 Mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder Geldstrafe wird bestraft, wer vorsätzlich jemanden einer offensichtlich ungerechtfertigten Strahlung aussetzt.

2 Mit Freiheitsstrafe oder Geldstrafe wird bestraft, wer vorsätzlich jemanden einer offensichtlich ungerechtfertigten Strahlung aussetzt, in der Absicht, dessen Gesundheit zu schädigen.

3 Mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder Geldstrafe wird bestraft, wer fahrlässig jemanden einer offensichtlich ungerechtfertigten Strahlung aussetzt.“

Auszüge aus der Schweizerischen Strahlenschutzverordnung (StSV SR 814.501, 2012 [26])

StSV Art. 1: Geltungsbereich

„1 Diese Verordnung gilt für Stoffe, Gegenstände und Abfälle, deren Aktivität, Konzentration, Kontamination, Dosisleistung oder Masse über den in Anhang 2 aufgeführten Werten liegen.

2 Die Verordnung gilt weiter:

a. für Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen;

b. für Geräte und Anlagen, die parasitäre ionisierende Strahlen aussenden können, sofern die nach Anhang 5 ermittelte Ortsdosisleistung in 10 cm Abstand von der Oberfläche mehr als 1 Mikrosievert (sva.) pro Stunde beträgt....“

StSV Art. 5: Rechtfertigung

„1 Eine Tätigkeit ist im Sinne von Artikel 8 StSG gerechtfertigt, wenn die mit ihr verbundenen Vorteile die strahlungsbedingten Nachteile deutlich überwiegen und keine gesamthaft für Mensch und Umwelt günstigere Alternative ohne Strahlenexposition zur Verfügung steht.

2 Tätigkeiten mit ionisierenden Strahlen, die für die betroffenen Personen zu einer effektiven Dosis von weniger als 10 µSv pro Jahr führen, gelten in jedem Fall als gerechtfertigt.“

StSV Art. 23: Information und Einwilligung des Patienten

„Bei geplanten diagnostischen oder therapeutischen Strahlenanwendungen gelten hinsichtlich der Information und der Einwilligung des Patienten die entsprechenden gesetzlichen Vorschriften des Bundes über den Schutz von Leib, Leben und der Persönlichkeit sowie die gesundheitsrechtlichen Vorschriften der Kantone.“

StSV Art. 28: Physiologische Untersuchungen mit radioaktiven Strahlenquellen

„1 Die Applikation offener oder geschlossener radioaktiver Strahlenquellen am Menschen für physiologische Untersuchungen, die nicht in den Geltungsbereich der Verordnung vom 17. Oktober 2001 über klinische Versuche mit Heilmitteln (VKlin) fallen, bedarf einer Bewilligung des BAG.

2 Keine Bewilligung ist erforderlich, wenn:

a: die effektive Dosis pro gesundem Probanden unter 1 mSv pro Jahr liegt;

b. die effektive Dosis pro Patient unter 5 mSv pro Jahr liegt; oder

c.

3 Mit Zustimmung des BAG darf der Grenzwert für gesunde Probanden bis 5 mSv betragen, sofern die Summendosis der letzten fünf Jahre einschliesslich des laufenden Jahres unter 5 mSv liegt.“

StSV Art. 35: Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen

„1 Für beruflich strahlenexponierte Personen darf die effektive Dosis den Grenzwert von 20 mSv pro Jahr nicht überschreiten. Artikel 36 bleibt vorbehalten.

2 Für beruflich strahlenexponierte Personen, die wichtige Arbeiten ausführen, beträgt der Dosisgrenzwert ausnahmsweise und mit Einwilligung der Aufsichtsbehörde bis 50 mSv pro Jahr, sofern die Summendosis der letzten fünf Jahre einschliesslich des laufenden Jahres unter 100 mSv liegt.

3 Für beruflich strahlenexponierte Personen darf die Äquivalentdosis die folgenden Grenzwerte nicht übersteigen:

- a. für die Augenlinse 150 mSv pro Jahr;
- b. für die Haut, die Hände und die Füsse 500 mSv pro Jahr.“

StSV Art. 36: **Schutz von jungen Personen und Frauen**

1 Für beruflich strahlenexponierte Personen im Alter von 16–18 Jahren darf die effektive Dosis den Grenzwert von 5 mSv pro Jahr nicht überschreiten.

2 Ab Kenntnis einer Schwangerschaft bis zu ihrem Ende darf für beruflich strahlenexponierte Frauen die Äquivalentdosis an der Oberfläche des Abdomens 2 mSv und die effektive Dosis als Folge einer Inkorporation 1 mSv nicht überschreiten.

3 Stillende Frauen dürfen keine Arbeiten mit radioaktiven Stoffen ausführen, bei denen die Gefahr einer Inkorporation oder radioaktiven Kontamination besteht.“

StSV Art. 37: **Dosisgrenzwert für nichtberuflich strahlenexponierte Personen**

„Für nichtberuflich strahlenexponierte Personen darf die effektive Dosis den Grenzwert von 1 mSv pro Jahr nicht überschreiten.“

Auszüge aus Begriffsbestimmungen (StSV SR 814.501)

Becquerel (Bq)

„Einheit für die Aktivität eines Radionuklids. 1 Bq = 1 Zerfall pro Sekunde. Das Becquerel ersetzt die frühere Einheit Curie (Ci). (1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq).“

Dosis

„Mass für die Beurteilung des gesundheitlichen Risikos durch ionisierende Strahlung. Wenn in dieser Verordnung nicht anders erwähnt, ist die effektive Dosis gemeint.“

Dosis, absorbierte Dosis

„Die durch Wechselwirkung von ionisierender Strahlung mit Materie in einer Masseneinheit deponierte Energie. Der spezielle Name dieser Einheit ist das Gray (Gy); 1 Gy = 1 J/kg.“

Dosis, Äquivalentdosis H

„Das Produkt aus der absorbierten Dosis DT,R infolge der Strahlung R im Gewebe T und dem Strahlen-Wichtungsfaktor wR (vgl. auch Dosis, effektive). Der spezielle Name der Einheit der Äquivalentdosis ist das Sievert (Sv); 1 Sv = 1 J/kg. $HT,R = wR \cdot DT,R$; für ein Gemisch von Strahlungen: $HT = \sum R wR \cdot DT,R$ “

Dosis, effektive

„Summe der mit den Wichtungsfaktoren w_T gewichteten Äquivalentdosen in allen Organen und Geweben.

$$E = \sum T w_T H_T = \sum T w_T \sum R w_R D_{T,R}$$

$D_{T,R}$ = Im Gewebe T durch Strahlung R absorbierte Dosis

w_R = Wichtungsfaktor der Strahlung (Anm. siehe auch Tabelle 46 und 47).

w_T = Wichtungsfaktor für Gewebe (Anteil am Gesamtrisiko für Gewebe/Organ T)

H_T = Äquivalentdosis des Gewebes/Organs T

Die spezielle Einheit der effektiven Dosis ist das Sievert (Sv); 1 Sv = 1 J/kg.

Wichtungsfaktoren der Strahlung

Strahlenart und Energiebereich		Wichtungsfaktoren der Strahlung w_R
Photonen, alle Energien		1
Elektronen und Myonen, alle Energien		1
Neutronen, mit Energie	unter 10 keV	5
	10 keV bis 100 keV	10
	100 keV bis 2 MeV	20
	2 MeV bis 20 MeV	10
	über 20 MeV	5
Protonen, ohne Rückstossprotonen,	Energie über 2 MeV	5
Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne		20

Tabelle 46: Daten aus StSV (2012 [26])

Wichtungsfaktoren für Gewebe

Gewebe oder Organ	Wichtungsfaktoren für Gewebe, w_T
Gonaden	0.20
Knochenmark (rot)	0.12
Dickdarm	0.12
Lunge	0.12
Magen	0.12
Blase	0.05
Brust	0.05
Leber	0.05
Speiseröhre	0.05
Schilddrüse	0.05
Haut	0.01
Knochenoberfläche	0.01
Übrige	0.05

Tabelle 47: Daten aus StSV (2012 [26])

9 Verdankungen

An erster Stelle sei mein Dank ausgesprochen an Dr. med. dent. Bernhard Knell für die stetig unermüdliche Unterstützung und Ermöglichung dieser Forschungsarbeit sowie an prakt. med. dent. Flavio Hofstetter für die kollegiale Hilfestellung in den Vorarbeiten und Evaluationen zu dieser Dissertation.

Für den Zugang zu den radiologischen Datenbanken, ohne die diese Dissertation nicht möglich gewesen wäre, sei Prof. Dr. med. dent. Thomas Attin vom Zentrum für Zahnmedizin UZH sowie PD Dr. med. Dr. med. dent. Heinz-Theo Lübbers gedankt. Herrn MTRA Adrian Mueller von Carestream Health Suisse sei mein Dank ausgesprochen für die Korrekturen der Texte zu digitalen und analogen Verfahren in der Orthopantomographie sowie Dr. Malgorzata Roos vom Biostatistischen Institut UZH für die ausführliche Anleitung zur statistischen Auswertung der Daten. Vielen Dank auch an Rechtsanwalt lic. iur. LL.M. Niklaus Oliver Boser für die Hilfestellung zu den rechtlichen Grundlagen sowie Dr. Marc Dusseiller für die Gespräche im Nidätzisloo zu wissenschaftlicher Arbeitsweise und Forschung.

10 Curriculum vitae

Name, Vorname:	Reutimann, Felix
04.01.1978	Geboren in Schaffhausen SH, Schweiz
1985 - 1991	Primarschule in Schaffhausen SH
1991 - 1992	Realschule in Schaffhausen SH
1992 - 1995	Sekundarschule in Schaffhausen SH
2003 - 2006	Thurgauisch-Schaffhauserische Maturitätsschule für Erwachsene (TSME), Frauenfeld TG. Schwerpunkt Biologie/Chemie
2007 - 2009	Vorklinisches Studium der Human- und Zahnmedizin an der Medizinischen Fakultät der Universität Zürich
2009 - 2013	Klinisches Studium der Zahnmedizin am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Zürich
08/2013	Universitärer Abschluss an der Universität Zürich in Master Zahnmedizin UZH und CH Staatsexamen Zahnmedizin
2011 - 2015	Doktorat in Forensischer Zahnmedizin am Rechtsmedizinischen Institut der Universität Zürich
Seit 2014	Assistenz Zahnarzt in Stadt Winterthur ZH